

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA



**“EVALUACION GEOLOGICA Y
GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION
DE LA PRESA DE TIERRA EN LA LAGUNA
PALCCACCOTA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

SAMUEL QUISOCALA MOROCCO

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

PUNO

PERÚ

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA

**“EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA LA
 CONSTRUCCION DE LA PRESA DE TIERRA EN LA LAGUNA
 PALCCACCOTA”**

TESIS PRESENTADA POR:
BACH. SAMUEL QUISOCALA MOROCCO

PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO



APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR

PRESIDENTE :
 Dr. Rolando Apaza Campos

PRIMER MIEMBRO :
 M.Sc. Leonel Palomino Ascencio

SEGUNDO MIEMBRO :
 Ing. Ronald Quiza Vilca

ASESOR DE TESIS :
 Dr. Erasmo Carnero Carnero

DIRECTOR DE TESIS :
 M.Sc. Miguel Calcina Benique

AREA: INGENIERIA GEOTECNICA

TEMA: GEOLOGIA DE INGENIERIA, GEOMECANICA Y OBRAS GEOTECNICAS

PUNO - PERU
2012

DEDICATORIA

Dedico esta obra a mi querido Papá Nicolás Quisocala Quispe y a mi querida Mamá Josefa Morocco Pachecca, como muestra de mi eterno agradecimiento y aprecio.

A mis Hermanos Rómulo, Raúl, Anita, Irene, Beatriz, Tania y a mis sobrinos Jhon Emerson, Paúl, Tania Thalfá, Ángel y Dilán porque ellos son mi orgullo para mi existencia y por estar siempre a mi lado en todo momento sin pedir nada a cambio.

A mi Princesa más querida de este mundo para Maylinzhu Lucia Rivera Núñez a quien la Amo y la Quiero con toda mi Alma.

Samuel Quisocala Morocco.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, por ser la casa superior de estudios de la cual egreso como profesional.

A la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica en donde realice mis estudios Superiores; a los Docentes por haberme impartido sus sabias enseñanzas, con especial deferencia a mis asesores; a los administrativos y compañeros.

Agradezco a Dios por darme la vida y gran oportunidad de dar este logro trascendental en mi vida profesional.

Samuel Quisocala Morocco.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE CUADROS.....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS UTILIZADOS.....	XVII
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT.....	XXI

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. PROBLEMAS DE INVESTIGACION	2
1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	2
1.3.1. HIPOTESIS	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	3
1.6. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	5
1.6.1. METODOLOGIA.....	5

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PRESA DE TIERRA	10
2.1.1. DEFINICION DE UNA PRESA DE TIERRA	10
2.1.1.1. TIPOS DE PRESAS.....	11
2.1.2. EMBALSE	12
2.1.3. VASO	14
2.1.4. CIMENTACION DE PRESAS	15
2.1.6. TALUDES.....	18
2.1.7. EL ALVIADERO	18
2.1.8. EL DESAGUE DE FONDO.....	18
2.2. PROCESOS DE LA SATURACION DE LA CIMENTACION	19
2.2.1. SUELOS EXPANSIVOS EN LA CIMENTACION	19
2.3. PRESION DE POROS EN LA CIMENTACION	20
2.3.1. COMPACTACIÓN DE SUELOS	21
2.4. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE FUNDACION	22
2.4.1. LA ECUACIÓN GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA	22
2.5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	25
2.5.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	25
2.5.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA	26
2.5.3. CORTE DIRECTO.....	29
2.5.4. ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	31
2.5.4.1. INFILTRÓMETRO.....	33
2.5.4.2. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN CALICATAS	34
2.5.4.3. FACTORES QUE AFECTAN A LA PERMEABILIDAD	37
2.5.5. ENSAYO PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL)	38
2.6. PRECIPITACION	40
2.7. INFILTRACIÓN AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES	41

CAPITULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	43
3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA	43
3.1.2. UBICACIÓN CARTOGRÁFICA	43
3.1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	43
3.2. ACCESIBILIDAD	46
3.3. CLIMA FLORA Y FAUNA	46
3.3.1. CLIMA	46
3.3.2. LLUVIAS	46
3.3.3. TEMERATURA.....	46
3.3.4. PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	47
3.3.5. HELADAS	47
3.3.6. VEGETACION.....	47
3.3.7. FAUNA.....	48
3.4. FISIOGRAFIA	48
3.4.1. FISIOGRAFIA REGIONAL	48
3.4.2. FISIOGRAFIA LOCAL	48
3.5. HIDROLOGIA	49
3.5.1. AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	49
3.6. GEOLOGIA REGIONAL	51
3.6.1 GRUPO MITU (Ps-mi)	52
3.6.2. FORMACION SENCCA (Np-Vs).....	52
3.7. GEOLOGIA LOCAL	60
3.7.1. DEPÓSITOS DE MATERIAL SUELTO (Qpl-Glf y Qr-al).....	61
3.7.2. DEPOSITOS RECIENTES(Q-al)	62
3.7.4. FORMACION CASA BLANCA(N-cb)	63
3.7.5. FORMACION YAURI (Qpl-y).....	64
3.7.6. GRUPO PUNO (P-pu).....	65
3.7.7. GEOLOGIA DE LA LAGUNA PALCCACCOTA	66

3.8. GEOMORFOLOGIA	69
3.8.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS DE LA LAGUNA	72
3.8.2. LITOLOGÍA Y AMBIENTE SEDIMENTARIO	73
3.9. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA	74
3.10. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	75
3.10.1. GEODINAMICA EXTERNA	75
3.10.2. GEODINAMICA INTERNA	76
3.11. GEOLOGIA HISTORICA	77
3.12. PETROLOGIA	78
3.12.1. ROCAS SEDIMENTARIAS.....	78
3.12.2. ROCAS VOLCANICAS.....	80
3.12.3. TUFOS VOLCÁNICOS.....	80

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y EVALUACION DEL TERRENO DE LA CIMENTACIÓN .82	
4.1.1. ANALISIS DEL TERRENO DE LA CIMENTACIÓN	83
4.1.2. ANALISIS DE LA CIMENTACIÓN EN EL DIQUE SUPERIOR.....	87
4.1.3. ANALISIS DEL TERRENO EN EL VASO DEL EMBALSE.....	91
4.2. PARÁMETROS DE SITIO	94
4.3. SISMICIDAD	97
4.4. EVALUACION DE SUELOS Y FUNDACION	97
4.4.1. ANALISIS DE CIMENTACION DE LOS DIQUES	97
4.4.2. CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.....	98
4.4.2.1. LA ECUACIÓN GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA.98	
4.4.3. CALICATA N° 02 DIQUE DEL EJE MEDIO SUPERIOR.....	99
4.4.4. CALICATA N°08 DIQUE DEL EJE MEDIO INFERIOR	101
4.5. ANALISIS DE INFILTRACION ENSAYOS DE PERMEABILIDAD ...	105
4.5.1. ENSAYOS EN SONDEOS INFILTRÓMETROS	105

4.5.2. ENSAYOS PERMEABILIDAD EN CALICATAS	113
4.6. DESCRIPCION DE PERFILES ESTRATIGRAFICOS	116
4.7. DESCRIPCION DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA	124
4.7.1. SONDEOS GEOTECNICOS Y PERFIL DEL ENSAYO DPL	127
4.8. DETERMINACION DE CANTERAS	137
4.9. EVALUACION DE CANTERAS.....	138
4.9.1. CANTERA DE CANTO DODADO PARA DREN	138
4.9.2. CANTERA DE ARCILLA ALTO PALLPATA	139
4.9.3. CANTERA PALCCACCOTA.....	140
4.9.4. CANTERA CERRO CCAJYLLUMA	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICOS	147
ANEXOS	150

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pag.
Figura 2.1.	Factores de capacidad de carga de Meyerhof.....	25
Figura 2.2.	Curva granulométrica	26
Figura 2.3.	Clasificación de materiales Límites de Atterberg	27
Figura 2.4.	Esquema del aparato de corte directo	30
Figura 2.5.	Esquema de corte directo	31
Figura 2.6.	Recta intrínseca	31
Figura 2.7.	Gradiente	32
Figura 2.8.	Trayectorias de filtración de suelos	34
Figura 2.9.	Esquema de para el cálculo de permeabilidad	36
Figura 2.10.	Diagrama del ensayo DPL.....	40
Figura 2.11.	Diagrama de flujo de agua	42
Figura 3.1.	Ubicación geográfica del proyecto.....	44
Figura 3.2.	Ubicación de ubicación del distrito de Pallapata	45
Figura 3.3.	Esquema de aportes de agua a la laguna Palccaccota	51
Figura 3.4.	Esquema de cuadrángulos.....	53
Figura 3.5.	Unidades geomorfológicas regionales y ubicación	53
Figura 3.6.	Plano geológico local de la Laguna Palccaccota	54
Figura 3.7.	Mapa geológico regional de Pallpata.....	55
Figura 3.8.	Estratigrafía de las unidades morfo estructurales regionales.....	56
Figura 3.9.	Columna estratigráfica generalizada del sur del Perú	57
Figura 3.10.	Columna estratigráfica regional	58
Figura 3.11.	Geología regional de la zona de estudio.	59

Figura 3.12. Delimitación de la zona de estudio	59
Figura 3.13. Leyenda de la delimitación de la zona de estudio	60
Figura 3.14. (Qpl-Glf), Depósitos con acumulaciones de gravas en matriz	61
Figura 3.15. (Qpl-Glf), Depósitos con acumulaciones de gravas	62
Figura 3.16. (Q-al), Depósitos aluviales recientes	63
Figura 3.17. (N-cb), afloramientos de la formación casa blanca	64
Figura 3.18. (N-cb), (Qpl-y), (Q-al) afloramientos de geología local	65
Figura 3.19. (N-cb), (Qpl-y), (Q-al) y (P-pu), afloramientos de geología local..	66
Figura 3.20. Los Afloramiento presencia de rocas.....	68
Figura 3.21. Los Afloramientos presencia de rocas sedimentarias	68
Figura 3.22. Esquema de Afloramientos en la Laguna	69
Figura 3.23. Roca sedimentaria clástica en el C° Palccaccota	69
Figura 3.24. Geomorfología de la zona sierra del Perú	70
Figura 3.25. Geomorfología de la zona de estudio.	71
Figura 3.26. Geomorfología de la zona sierra del Perú	71
Figura 3.27. Panorámica donde se observa la geomorfología de la laguna	72
Figura 3.28. Unidades geomorfológicas valles Maduros a seniles	72
Figura 3.29. Esquema de la estratigrafía aguas abajo dique inferior	75
Figura 3.30. Diagrama del ciclo de geológico geodinámica interna	76
Figura 3.31. Diagrama del ciclo de geológico geodinámica interna	77
Figura 3.32. Descripción de afloramientos de rocas, depósitos aluviales	81
Figura 4.1. Calicatas realizadas Dique Inferior C-08, prof=450m	84
Figura 4.2. Calicata C-09, NF=1.30, Profundidad=1.50m, dique Inferior.	85
Figura 4.3. Descripción de calicatas y sondeo de cada DPL	86
Figura 4.4. Calicata C-01, NF=1.30, Profundidad=1.50m, dique superior.....	88
Figura 4.5. C-02, con bastante infiltración en el eje del Dique Superior.....	89

Figura 4.6. Calicatas realizadas en el embalse.	92
Figura 4.7. Mapa de zonificación sísmica del Perú	95
Figura 4.8. Base de la cimentación dique superior	99
Figura 4.9. Profundidad vs Q_a (kg/cm ²) dique del superior.....	100
Figura 4.10. Base de la cimentación dique inferior	101
Figura 4.11. Profundidad vs Q_a (kg/cm ²) dique inferior.	102
Figura 4.12. Profundidad vs Q_a del dique superior e inferior.....	103
Figura 4.13. Ensayo de infiltrómetro en el vaso.....	105
Figura 4.14. Ensayo de permeabilidad en calicatas.	105
Figura 4.15. Ubicación de pozos para el ensayo de permeabilidad	107
Figura 4.16. Diagrama del primer ensayo de permeabilidad por el método ...	108
Figura 4.17. Diagrama del primer y segundo ensayo de permeabilidad	109
Figura 4.18. Diagrama del primer, segundo y tercer ensayo	110
Figura 4.19. Diagrama del material predominante y a la permeabilidad	110
Figura 4.20. Ubicación de calicatas C-10, C-11	114
Figura 4.21. Diagrama del ensayo de permeabilidad en C-10 inferior	115
Figura 4.22. Diagrama del ensayo de permeabilidad en C-11 superior	116
Figura 4.23. Perfil estratigráfico de la calicata C-01	117
Figura 4.24. Perfil estratigráfico de la calicata C-02	118
Figura 4.25. Perfil estratigráfico de la calicata C-03	119
Figura 4.26. Perfil estratigráfico de la calicata C-04	120
Figura 4.27. Perfil estratigráfico de la calicata C-05.	121
Figura 4.28. Perfil estratigráfico de la calicata C-06	122
Figura 4.29. Perfil estratigráfico de la calicata C-07	122
Figura 4.30. Perfil estratigráfico de la calicata C-08	123
Figura 4.31. Perfil estratigráfico de la calicata C-09	124

Figura 4.32. Proceso de penetración con DPL en la calicata C-08.....	125
Figura 4.33. Sondeo del ensayo DPL-01 en la C-08	127
Figura 4.34. Sondeo del ensayo DPL-02 en la C-07	128
Figura 4.35. Sondeo del ensayo DPL-03 en la C-09	129
Figura 4.36. Sondeo del ensayo DPL-04 en la C-01	129
Figura 4.37. Sondeo del ensayo DPL-05 en la C-01.	130
Figura 4.38. Sondeo del ensayo DPL-06 en la C-03.	131
Figura 4.39. Sondeo geotécnico de calicatas dique inferior.....	132
Figura 4.40. Corte geológico de la cerrada dique inferior.	133
Figura 4.41. Altura del NAME y NAMI de la cerrada dique inferior.	134
Figura 4.42. Sondeo geotécnico de calicatas dique superior.....	135
Figura 4.43. Corte geológico de la cerrada dique superior.	136
Figura 4.44. Altura del NAME y NAMI de la cerrada dique superior.	137
Figura 4.45. Vista panorámica de la ubicación de la cantera de material	139
Figura 4.46. Vista panorámica de la ubicación de la cantera de arcilla	140
Figura 4.47. Vista panorámica de la ubicación de cantera Palccaccota	141
Figura 4.48. Vista panorámica de la ubicación de la cantera de roca	142
Figura 4.49. Vista panorámica de la ubicación de las canteras	142

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pag.
	Tabla 2.1. Factores de forma, profundidad y inclinada	24
	Tabla 2.1. Factores de capacidad de carga de Meyerhof	25
	Tabla 2.3. Mallas y abertura, Manual de Ensayo de Materiales, 2012	27
	Tabla 2.4. Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos	35
	Tabla 2.5. Permeabilidades típicas de algunos suelos	35
	Tabla 2.6. Coeficientes de permeabilidad (k)	37
	Tabla 4.1. Coeficiente de factores de Zona	96
	Tabla 4.2. Cargas admisibles medias de diferentes materiales	103
	Tabla 4.3. Pesos específicos de diferentes rocas	143

ÍNDICE DE CUADROS

N°	Descripción	Pag.
Cuadro 3.1.	Por la ciudad del Puno	46
Cuadro 3.2.	Por la ciudad del Cusco	46
Cuadro 4.1.	Resumen de características y parámetros geotécnicos	86
Cuadro 4.2.	Resumen de profundidad de rechazo con (DPL)	87
Cuadro 4.3.	Descripción de calicatas y DPL.....	90
Cuadro 4.4.	Resumen de descripción de calicatas en el embalse	94
Cuadro 4.5.	Descripción de parámetros geotécnicos de las calicatas	94
Cuadro 4.6.	Factores de Zona	96
Cuadro 4.7.	Parámetros de suelo.....	97
Cuadro 4.8.	Parámetros geotécnicos de la C-02.....	99
Cuadro 4.9.	Factores para el cálculo de carga última en el terreno	100
Cuadro 4.10.	Parámetros geotécnicos de la C-08.....	101
Cuadro 4.11.	Factores para el cálculo de carga última en el terreno	101
Cuadro 4.12.	Ubicación de pozos para el ensayo de permeabilidad	106
Cuadro 4.13.	Resultados para el primer ensayo de permeabilidad	107
Cuadro 4.14.	Resultados para el segundo ensayo de permeabilidad	108
Cuadro 4.15.	Resultados para el tercer ensayo de permeabilidad	109
Cuadro 4.16.	Resultados de pruebas de infiltrómetro primer ensayo.	111
Cuadro 4.17.	Resultados de pruebas de infiltrómetro segundo ensayo.	111
Cuadro 4.18.	Resultados de pruebas de infiltrómetro tercer ensayo.	111
Cuadro 4.19.	Resultados de pruebas de permeabilidad en calicata C-10.	114

Cuadro 4.20. Resultados de pruebas de permeabilidad en calicata C-11. .	115
Cuadro 4.21. Resumen de rechazo con el ensayo de penetración	126
Cuadro 4.22. Profundidad total del sondeo calicata	127
Cuadro 4.23. Características físicas de la cantera de filtro para dren.....	139
Cuadro 4.24. Características físicas de la cantera alto Pallpata.....	140
Cuadro 4.25. Características físicas de la cantera de cerro Palccaccota	141
Cuadro 4.26 Características físicas de la cantera del cerro Palccaccota.....	142
Cuadro 4.27. Evaluacion y relacion de canteras	143

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS UTILIZADOS

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
k	Coeficiente de permeabilidad
R	Radio de sondeo de permeabilidad
t_2	Tiempo final
t_1	Tiempo inicial
h_2	Altura final descenso
h_1	Altura inicial
Δt	Incremento de tiempo
Q_u	Capacidad de carga última
Q_a	Capacidad de carga admisible
C	Cohesión de los suelos
N_c, N_q y N_γ	Factores de capacidad de Meyerhof que depende de, ϕ
D_c, D_q y D_γ	Factores de profundidad
S_c, S_q y S_γ	Factores de forma
B	Base de la cimentación
D	Profundidad de nivel de desplante
ϕ	Angulo de fricción interna
k_{pr}	Coeficiente de presión pasiva
F. S.	Factor de seguridad
θ	Ángulo de carga axial al eje vertical
∂V	Variación de volumen en un diferencial de tiempo
∂t	Diferencia de tiempo
i	Gradiente hidráulico
A	Sección transversal del filtro (cm ²)
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de materiales
AASHTO	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes
CISMID	Centro Peruano Japonés de investigaciones sísmicas y mitigaciones de desastres

Cm	Centímetro
Km	Kilometro
mm	Milímetros
Kpa	Kilo pascales
PSI	Unidad de presión
Pulg	Pulgadas
E – 030	Manual de diseño sísmico resistente
Fm	Formacion
GW	Grava bien graduada
GC	Grava arcillosa
GM	Grava Limosa
ML	Limo de baja plasticidad
SC	Arena arcillosa
SM	Arena limosa
CL	Arcilla de baja plasticidad
GPS	Sistema de posicionamiento global
Ha	Hectáreas
IP	Índice de plasticidad
LL	Límite liquido
LP	Límite plástico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NF	Nivel freático
N – cb	Formación casa blanca
P – pu	Grupo puno
(Qpl – Glf , Qr – al)	Depósitos de material suelto
Qpl – y	Formación Yauri
Ps – ml	Grupo mitu
Np – vs	Formación sencca
Pt	Turba, material cuaternario
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos
Q	Caudal
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e hidrología
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

NTP	Norma técnica Peruana
ASTM	American Society for Testing and Materials
UTM	Universal transversal de Mercator
WGS84	Sistema de coordenadas geográficas mundial
μ	Presión de poros
DPL	Ensayo de penetración dinámica ligera
DPL – 01	Registro de sondeo del ensayo DPL N° 001
DPL – 02	Registro de sondeo del ensayo DPL N° 002
DPL – 03	Registro de sondeo del ensayo DPL N° 003
DPL – 04	Registro de sondeo del ensayo DPL N° 004
DPL – 05	Registro de sondeo del ensayo DPL N° 005
DPL – 06	Registro de sondeo del ensayo DPL N° 006
C – 01	Registro de sondeo de calicata N° 001
C – 02	Registro de sondeo de calicata N° 002
C – 03	Registro de sondeo de calicata N° 003
C – 04	Registro de sondeo de calicata N° 004
C – 05	Registro de sondeo de calicata N° 005
C – 06	Registro de sondeo de calicata N° 006
C – 07	Registro de sondeo de calicata N° 007
C – 08	Registro de sondeo de calicata N° 008
C – 09	Registro de sondeo de calicata N° 009
S1	Parámetro sísmico de suelo rocas o suelos muy rígidos
S2	Parámetro sísmico de suelo de suelos intermedios
S3	Parámetro sísmico de suelo Suelos flexibles o con estratos de gran espesor
S4	Parámetro sísmico de suelo Condiciones excepcionales
Tp	Periodo Predominante sísmico
Z	Factor de zona

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Región Cusco, provincia de Espinar, distrito de Pallpata, en la laguna de Palccaccota, la principal finalidad de la investigación consistió en la evaluación geológica y geotécnica de la zona de emplazamiento donde se construirá los diques y el embalse de agua con una capacidad de almacenamiento de 8'886,925.00 m³ con fines para la irrigación de cultivos y consumo humano para cubrir la demanda de los comuneros en el distrito de Pallpata región Cusco para la construcción de la presa de tierra en la laguna Palccaccota. En los cuales se realizaron trabajos de exploración geológica y geotécnica tales como mapeo geológico local, prospección geotécnica en los diques, embalse, excavación de calicatas, ensayos de infiltrómetro in situ de permeabilidad, ensayos de penetración DPL, ensayos de laboratorio. Las condiciones geológicas del área de estudio en el basamento donde se construirá la presa señalan que se presenta afloramientos de rocas sedimentarias, areniscas cuarcíticas pertenecientes al grupo Puno con alto contenido de cuarzo, depósitos de material suelto (Qpl-glf y Qr-al), depósitos recientes, depósitos aluviales en el margen izquierdo, derecho del dique inferior y superior. Aguas arriba de la laguna Palccaccota se observa afloramientos de la formación casa blanca(N-cb) constituidos por conglomerados lacustrinos de proporción muy variable. Las condiciones geotécnicas se han obtenido las siguientes valuaciones en el eje del dique inferior la calicata C-8, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) representa un tipo de material Limo inorgánico de baja plasticidad ML, en el eje del dique superior la calicata C-2 según clasificación SUCS representa un tipo de material de arena arcillosa SC, la permeabilidad media obtenida ha sido de $1.67 \times 10^{-04} \text{ cm/s}$, la permeabilidad baja ha sido de $1.81 \times 10^{-05} \text{ cm/s}$; se ha llegado a una profundidad de 9.90m con 42 golpes y 9.0m con 41 golpes en los diques superior e inferior respectivamente con el ensayo penetración dinámica ligera (DPL).

Palabras claves: Cimentación, parámetro geológico, parámetro geotécnico, infiltración, permeabilidad y presión de poros.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Cusco Region, Espinar province, Pallpata district, in the Palccaccota lagoon, the main purpose of the investigation consisted in the geological and geotechnical evaluation of the area where the dykes and the reservoir will be built. of water with a storage capacity of 8,886,925.00 m³ for purposes of crop irrigation and human consumption to meet the demand of the comuneros in the district of Pallpata Cusco region for the construction of the earth dam in the Palccaccota lagoon. In which geological and geotechnical exploration works were carried out, such as local geological mapping, geotechnical prospecting in the dams, reservoir, excavation of test pits, permeability in situ infiltrometer tests, DPL penetration tests, laboratory tests. The geological conditions of the study area in the basement where the dam will be built indicate that outcrops of sedimentary rocks, quartzite sandstones belonging to the Puno group with high quartz content, deposits of loose material (Qpl-glf and Qr-al), Recent deposits, alluvial deposits in the Left margin, right of the lower and upper dike. Upstream of the Palccaccota lagoon there are outcrops of the Casa Blanca formation (N-cb) constituted by lacustrine conglomerates of a very variable proportion. The geotechnical conditions have been obtained the following valuations in the shaft of the lower dam the pit C-8, according to Unified System of Classification of Soils (SUCS) represents a type of material Inorganic slime of low plasticity ML, in the axis of the upper levee the C-2 pit according to SUCS classification represents a type of SC clayey sand material, the average permeability obtained has been $1.67 \times 10^{-04} \text{ cm/s}$, the low permeability has been $1.81 \times 10^{-05} \text{ cm/s}$; it has reached a depth of 9.90m with 42 strokes and 9.0m with 41 strokes in the upper and lower levees respectively with the light dynamic penetration test (DPL).

Keywords: Foundation, geological parameter, geotechnical parameter, infiltration, permeability and pore pressure.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES

Las presas de tierra se construyen con la finalidad de almacenar gran cantidad de volúmenes de agua en el embalse para diferentes fines y usos de la humanidad, se constituyen básicamente de materiales sueltos de canteras los cuales son aprovechados tomando en consideración las características geológicas y parámetros geotécnicos, existen una infinidad de presas de tierra con alturas considerables las cuales se han construido utilizando materiales aluviales, depósitos de materiales con acumulaciones de materiales de diversos tamaños pero de litología homogénea denominados coluviales y de cantera, con parámetros geológicos y geotécnicos no representativos para este tipo de proyectos por lo tanto el agua almacenada empieza a buscar su cauce mediante estos materiales y estructuras débiles o por zonas permeables posteriormente ocasionando fallas en la estructura de la presa generalmente en la cimentación del terreno de fundación.

Por ello es necesario e imprescindible la evaluación geológica y geotécnica de la cimentación del dique, embalse, mediante estudios directos e indirectos realizando prospección detallado de la zona donde se implantara los diques superior e inferior, realizar una prospección en el embalse para que no haya filtraciones en el vaso y perdida por infiltración en el suelo, realizar análisis y verificación en laboratorio.

Estos estudios de mapeo geológico, prospección geotécnica, análisis de infiltración del terreno de fundación, análisis de permeabilidad en los diques; embalse nos conllevara a realizar una construcción más segura y rentable.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aspecto geológico y geotécnico para la construcción de una presa de tierra en la laguna Palccaccota serán decisivos, ya que son los pilares para el diseño de la presa; estos estudios nos determinarán si la presa es capaz de almacenar grandes volúmenes de agua o las pérdidas, debido a las filtraciones o presencia de algunas fallas que puedan existir en la cerrada y en el vaso donde se embalsará agua; el estudio geotécnico detallado es fundamental para la buena construcción de la presa, nos determinarán el control de calidad de los agregados y materiales de cantera, que serán usados para diferentes fines en la construcción la presa de tierra en la Laguna Palccaccota; la determinación de los parámetros geotécnicos nos determinarán las características físicas y mecánicas de los suelos, para tal efecto es muy importante el análisis detallado de estos estudios para que la obra cumpla la función con la cual será construida.

1.2.1. PROBLEMAS DE INVESTIGACION

1.2.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Las condiciones geológicas y geotécnicas serán favorables para la construcción de la presa de tierra en la laguna Palccaccota?

1.2.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICAS

¿Las características geológicas y geotécnicas del terreno de fundación serán confiables para la construcción de los diques de la presa de tierra en la laguna Palccaccota?

¿Las propiedades del terreno de fundación serán desfavorables para que el flujo atraviese el material alterando su estructura interna para la construcción de los diques de la presa de tierra en la laguna Palccaccota?

1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

1.3.1. HIPOTESIS

- Las características y condiciones geológicas, geotécnicas y los materiales de cantera son adecuados para la construcción de la presa de tierra en la laguna Palccaccota.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las características geológicas y geotécnicas para la construcción de la presa de tierra en la laguna Palccaccota

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el estudio geológico y geotécnico en el del terreno de fundación para la construcción de los diques de la presa de tierra en la laguna Palccaccota?
- Evaluar las propiedades del terreno de fundación para que el flujo no atraviese el material alterando su estructura interna para la construcción de los diques de la presa de tierra en la laguna Palccaccota

1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Contexto histórico a nivel local

En esta parte de la región del Cusco en el distrito de Pallpata la Presa Cota Cota Cocha de almacenamiento y regulación, además de las presas de relave para uso minero. Presa que presentan una altura igual a 4.0 metros (medida desde la cota más baja de su cimentación) o que conformen un reservorio de capacidad mayor de 300,000.00 m³.

Contexto histórico a nivel regional

En la región Puno ubicado en el Distrito de Ocuvi de la Provincia de Melgar la represa de tierra denominado Saguanani tiene un volumen de almacenamiento de 12 millones de metros cúbicos de agua, para beneficio a más de 10 comisiones de regantes de la parte baja de la cuenca Llallimayo. En el sub sistema de Llallimayo, se tiene previsto irrigar 8 mil hectáreas en toda la cuenca desde el distrito de Ocuvi hasta Umachiri. Las aguas de la presa Saguanani alimentará a las irrigaciones de Caycho cerro Minas, Iniquilla, Buena Vista, Canal Sucre, Sora Umasi, Canal N, Paylla Centro, Paylla Norte y Santa Asunción.

La represa Saguanani se construyó en el año 2003 por parte del Gobierno Regional Puno, en tanto recién en el 2012 se inició a operar para abastecer el agua en época secano.

También esta represa beneficiará a 4 mil familias debido que en temporadas de sequía hay un déficit de agua en la cuenca Llallimayo (PRORRIDRE-2012).

Contexto histórico a nivel nacional

En el Perú se cuenta con presas y reservorios con una capacidad total de 1.9 km³ y tiene las condiciones geográficas apropiadas para construir 238 reservorios más con una capacidad total de 44 km³ (V. A. Hermes, 2012).

En los últimos 100 años se han construido en el Perú más de 128 presas para reservar agua y regular este recurso naturalmente mal distribuido en el tiempo y en el espacio. Las primeras presas fueron construidas con fines de reservar agua para afianzar los grandes proyectos de irrigación en la costa peruana y proyectos de hidroelectricidad, abastecimiento de agua potable. Más tarde, las presas fueron proyectadas para cubrir demandas para uso industrial y mineros principalmente en la cuenca alta (V. B. TERESA OLINDA, 2014).

Dentro de este contexto, y con la finalidad de aportar en este tema de reservas de agua con obras de presas en nuestro país, es que se realizó la investigación de las características, perspectivas y tendencias en el diseño de las presas de tierra

y/o enrocado a nivel nacional, así como el análisis del incremento de la capacidad de almacenamiento disponible con las presas construidas según los requerimientos en los diversos sectores productivos del país, principalmente en zonas con menor rendimiento hídrico como es el caso de la región hidrográfica Pacífico (V. B. TERESA OLINDA, 2014).

En el Perú En el Proyecto Chavimochic se ha construido un embalse de tierra para regular los caudales derivados del Río Santa. Este embalse se ha ubicado en la Quebrada Palo Redondo, antes que el canal ingrese al túnel Intercuencas. El embalse tuvo un volumen total de 370 millones de metros cúbicos, de los cuales 70 corresponden al volumen muerto de sedimentos. La Presa Palo Redondo tendría una longitud de coronación de 770 m y cerca de 480 m en la base, con una altura máxima de 115 m sobre la cimentación de roca. En el estudio de factibilidad de la Presa Palo Redondo se han considerado tres alternativas de presa para el embalse (ALVA H. J. E. INFANTES Q. M, 1999):

1.6. METODOLOGIA DE TRABAJO

1.6.1. METODOLOGIA

La metodología del trabajo empleado para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue llevada a cabo en 2 fases:

1.6.1.1. TRABAJO DE CAMPO

La zona de análisis cubre aproximadamente una área de 20.9 Ha, se realizaron 09 calicatas el total tanto en los dique superior e inferior y en todo el vaso de la presa, 02 calicatas con una profundidad de 4.50m en las calicatas C-08 dique inferior, C-02 dique superior la C-09, C-01, C-03, C-04, C-05 con una profundidad 1.50m la C-07 con una profundidad de 1.20 y finalmente la calicata C-06 con una profundidad de 0.80m, estas calicatas son prospecciones que se han realizado en el dique inferior y superior en donde se construirán los diques, se tomaron muestras alteradas e inalteradas para efectos de análisis en el laboratorio.

Después de haber realizado las calicatas correspondientes manualmente o con maquinaria sobre estas calicatas se ha realizado el ensayo de Penetración Dinámica del Tipo Ligero (DPL), la cual es como se menciona en la calicata C-08, corresponde el DPL-01 con un rechazo a una profundidad de 4.50m total profundidad de sondeo es de 9m.

C-07, corresponde el DPL-02 con un rechazo a una profundidad de 4.20m total profundidad de sondeo es de 5.40m.

C-09, corresponde el DPL-03 con un rechazo a una profundidad de 4.10m total profundidad de sondeo es de 5.60m.

C-01, corresponde el DPL-04 con un rechazo a una profundidad de 4.60m total profundidad de sondeo es de 6.10m.

C-02, corresponde el DPL-05 con un rechazo a una profundidad de 5.40m total profundidad de sondeo es de 9.90m.

C-03, corresponde el DPL-06 con un rechazo a una profundidad de 4.00m total profundidad de sondeo es de 5.50m. En las calicatas C-04, C-05 y C-06 no corresponde este ensayo de Penetración Dinámica del Tipo Ligero (DPL) porque se encuentran en el vaso.

Se realizaron pozos para sondeos de infiltración de agua para determinar la permeabilidad en situ en total se han realizado 09 pozos de verificación P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-06, P-07, P-08, P-09 todos con una profundidad de 0.70m y con un diámetro de 0.40m.

Se realizaron calicatas para determinar la permeabilidad en situ en total se han realizado 02 calicatas exclusivamente para la verificación C-10, C11 en el dique inferior y superior respectivamente.

Se realizaron mapeos geológicos locales y regionales indicándose detalladamente los afloramientos rocosos, los materiales cuaternarios,

descripción de estructuras geológicas tales como fallas, fisuras, diaclasas, pliegues para el análisis posterior en gabinete.

Búsqueda de información para evaluación geológica y geotécnica en la laguna Palccaccota, ubicación de posibles canteras para la conformación del dique de la presa. Se ha identificado el área en el cual se ha realizado el estudio de investigación para las canteras para la construcción de la presa de tierra.

Se realizó el levantamiento topográfico de toda la zona de estudio y se ha tomado puntos de referencia para ubicar las coordenadas de las calicatas para la toma de muestras alteradas e inalteradas en la sección de análisis.

Se ha tomado muestras, la cual nos permitió evaluar los parámetros geológicos, geotécnicos e hidrológicos con fines de realizar su evaluación correspondiente.

El trabajo de mecánica de suelos se desarrolló con el objetivo de investigar las características del suelo que nos ha permitido establecer los parámetros geotécnicos para la su análisis.

Los ensayos nos permitieron determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos obtenidos del muestreo, las mismas que servirán de base para determinar las características de diseño y las propiedades nos permitirán determinar parámetros.

a) PERFIL ESTRATIGRÁFICO

En las calicatas realizadas los perfiles estratigráficos han sido muy importantes para conocer la secuencia de los estratos de los suelos internamente distribuidos en las calicatas realizadas.

Los sondeos mediante el ensayo Penetración Dinámica del Tipo Ligero (DPL) ha sido también determinante para indicar la profundidad donde se construirá la cimentación de presa.

La elaboración del perfil estratigráfico in situ, es importante porque se requiere de una clasificación de materiales que se obtiene mediante análisis y ensayos de laboratorio sobre las muestras extraídas en el campo.

La interpretación de los resultados obtenidos permite clasificar los suelos, definir los horizontes de material homogéneo y establecer la estratigrafía.

b) MATERIALES Y EQUIPO

Se utilizó los siguientes materiales

- 4 Picos
- 4 palas
- 2 flexómetros
- Sacos para muestras
- Parafina
- Cuchillo para tallar muestras inalteradas
- Cinta de embalaje
- 01 retroexcavadora

c) INSTRUMENTOS

- 02 GPS.
- 01 Estación total
- 01 nivel
- Picota de geólogo

d) SOFTWARE

- Software Autocad 2014
- Software Autocad Civil 3D 2014
- Software ARCGIS extensiones (HECgeoRAS, HECras)

e) MANO DE OBRA

- 04 peones
- 01 Técnico en suelos
- 01 Ingeniero

1.6.1.2. TRABAJO DE GABINETE

Con las muestras obtenidas se efectuaron ensayos básicos de laboratorio la granulometría, límites de plasticidad, proctor modificado, corte directo, contenido de humedad, ensayo de calidad de rocas, descripción de las rocas, mapeo geológico, interpretación de mapas geológicos con la ayuda de los Software se ha dibujado y graficado los planos, interpretación de medidas de permeabilidad.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PRESA DE TIERRA

2.1.1. DEFINICION DE UNA PRESA DE TIERRA

Las Presas de tierra están conformados de materiales sueltos: son las más utilizadas en los países subdesarrollados Son aquellas que consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas. Los materiales más utilizados en su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas aunque dentro de todos estos los que más destacan son las piedras y las gravas (WASHINGTON S. E, 2012).

Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, para laminación de avenidas (evitar inundaciones aguas abajo de la presa) o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética y ésta nuevamente en mecánica al accionar la fuerza del agua un elemento móvil. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas (WASHINGTON S. E, 2012).

Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras

resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno. Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de hormigón, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba. Estas presas tienen el inconveniente de que si son rebasadas por las aguas en una crecida, corren el peligro de desmoronarse y arruinarse (WASHINGTON S. E, 2012).

(Ven Te Chow, 1983), En ingeniería se denomina presa o represa a una barrera fabricada de piedra, concreto o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo. Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para elevar su nivel con el objetivo de derivarla, mediante canalizaciones de riego, para su aprovechamiento en abastecimiento o regadío, en eliminación de avenidas (evitar inundaciones de aguas abajo de la presa) o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética y está nuevamente en mecánica y que así se accione un elemento móvil con la fuerza del agua. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas.

2.1.1.1. TIPOS DE PRESAS

Las presas se clasifican según la forma de su estructura y los materiales empleados. Las grandes presas pueden ser de hormigón o de elementos sin trabar. Las presas de hormigón más comunes son de gravedad, de bóveda y de contrafuertes. Las presas de elementos sin trabar pueden ser de piedra o de tierra. También se construyen presas mixtas, por ejemplo de gravedad y de piedra, para conseguir mayor estabilidad. Además, una presa de tierra puede tener una estructura de gravedad de hormigón que soporte los aliviaderos. La elección del tipo de presa más adecuado para un emplazamiento concreto se determina mediante estudios de ingeniería y consideraciones económicas. El coste de cada tipo de presa depende de la disponibilidad en las cercanías de los materiales para su construcción y de

las facilidades para su transporte. Muchas veces sólo las características del terreno determinan la elección del tipo de estructura.

a) PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

Presas de materiales sueltos: son las más utilizadas en los países subdesarrollados ya que son menos costosas y suponen el 77 % de las que podemos encontrar en todo el planeta. Son aquellas que consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas. Los materiales más utilizados en su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas aunque dentro de todos estos los que más destacan son las piedras y las gravas.

Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno. Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de hormigón, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba (Ven Te Chow, 1964).

(González de Vallejo Luis I, 2004), La principal característica de estas presas es el tipo de material utilizado para su construcción. En principio, la gran mayoría de materiales geológicos son aceptables, excepto los que se pueden alterar, disolver o evolucionar modificando sus propiedades. El sistema de construcción consiste en la compactación de materiales dispuestos por tongadas, según los procedimientos descritos.

2.1.2. EMBALSE

Se entiende como pequeña presa o embalse aquel depósito artificial de agua definido por un dique de altura inferior a 10 metros o, si su altura estuviera comprendida entre 10 y 15 metros, con una capacidad inferior a 100,000m³ (Dal-Ré, 2003).

Es el volumen de agua que queda retenido por la presa, se denomina embalse a la acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.

La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas (<http://www.monografias.com/trabajos15/embalses/embalses.shtml>).

Gran depósito que se forma artificialmente, por lo general cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizar en el riego de terrenos, en el abastecimiento de agua potable de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc. También se denomina embalse a las aguas así acopiadas (Bureau of Reclamation, 1987).

a) CAPACIDAD DE UN EMBALSE

La capacidad de un embalse se mide por el volumen de agua contenido en su vaso de almacenamiento para una altura dada de la presa y de su aliviadero. Para calcular la capacidad se utilizan los planos levantados del vaso de almacenamiento. Para ello, una vez que hallamos fijado el sitio de la presa y la cota del fondo del río, comenzamos por medir con el planímetro las áreas abarcadas por cada una de las curvas de nivel. Luego, si calculamos la semisuma de las áreas entre curvas y las multiplicamos por el intervalo entre las mismas obtenemos el volumen almacenado entre curvas o volumen parcial. Si se acumulan luego los volúmenes parciales, se obtienen el volumen almacenado por cada cota o altura sobre el fondo del río (Castillo T Jorge L, 2006).

b) ESTRUCTURAS QUE CONFORMAN LOS EMBALSES (Castillo T Jorge L, 2006).

Todo embalse consta de las siguientes estructuras básicas: la presa, el aliviadero y las obras de toma.

La presa, dique o represa, es la estructura de retención de las aguas y resiste un empuje. Debe ser por lo tanto, impermeable y estable, conjuntamente con su fundación y sus estribos.

El aliviadero o estructura de alivio o descarga de los excedentes que llegan al embalse, los cuales no se desean almacenar. Sus características más importante es la de evacuar con facilidad las máximas crecientes que llegan al vaso de almacenamiento. Su insuficiencia provoca el desborde del agua por encima de la cresta de la presa y el posible colapso de esta estructura si se trata de una presa de tierra o enrocado.

Las obras de toma son un conjunto de estructuras formado por una estructura de entrada o toma, un túnel o conducto a través de un estribo o de la presa y una estructura de salida. Este conjunto permite tomar las aguas del embalse y pasarlas al canal principal. Debe tener suficiente capacidad para descargar las aguas abastecer a la zona de riego con el gasto necesario, de acuerdo a los requerimientos de los suelos para niveles mínimos del embalse.

2.1.3. VASO

Es la parte del valle que, inundándose, contiene el agua embalsada.

Una de las condiciones básicas que debe reunir un embalse es su estanqueidad. Sin embargo, dependiendo del uso del mismo, las pérdidas de agua pueden ser más o menos tolerables. Así, un embalse de regulación de avenidas no requiere la misma estanqueidad que para abastecimiento o regadío. Por otro lado, las condiciones de impermeabilidad también deben ser analizadas en función de las necesidades del aprovechamiento, ya que, en ocasiones, puede ser económicamente rentable proceder a tratamientos de impermeabilización en zonas concretas (González de Vallejo Luis I, 2004).

2.1.4. CIMENTACION DE PRESAS

(Ray K.Linsley & Joseph B. Franzini, 1978), La cimentación: es la parte de la estructura de la presa, a través de la cual se transmiten las cargas al terreno, tanto las producidas por la presión hidrostática como las del peso propio de la estructura.

La cimentación debe proporcionar un apoyo estable para el terraplén en todas sus condiciones de carga y saturación.

Debe tener resistencia a la filtración para evitar daños por erosión y pérdidas de agua.

El área de la fundación de la presa se debe limpiar totalmente removiendo todos los árboles, malezas, raíces, piedras, tierra vegetal, basuras, materiales permeables, etc., hasta llegar a una capa de suelo resistente y adecuado. La superficie obtenida para la fundación deberá ser escarificada antes de comenzar a construir el terraplén.

El área de fundación correspondiente a cauces de arroyos deberá ser limpiada, profundizada y ampliada hasta remover todas las piedras, grava, arena, y cualquier material indeseable. La limpieza de los cauces se efectúa profundizando de manera que los taludes de la excavación sean estables.

Cuando se encuentre roca durante la preparación de la fundación, es importante que ésta quede perfectamente limpia removiéndose de su superficie toda costra o fragmento de roca. Para esta operación no se podrá emplear ningún tipo de explosivos.

Es importante que se realice simultáneamente la preparación de la fundación y la excavación para la tubería de toma de agua de acuerdo con las pendientes y dimensiones mínimas indicadas en planos.

En esta etapa de la construcción es importante tomar todas las previsiones para controlar el agua hasta que se concluya la obra.

a) CIMENTACIONES EN ROCA

En general no presentan problemas de resistencia a la capacidad portante. El principal problema lo constituyen las filtraciones excesivas por fisuras y grietas.

b) CIMENTACIONES EN LIMO ARCILLA

El problema estriba no tanto en las filtraciones como en la estabilidad del suelo de la cimentación.

c) CIMENTACIONES SATURADAS

Es necesario estudiar el grado de consolidación del suelo previa identificación del mismo. El estudio es extensivo y puede resultar costoso. Algunas medidas constructivas son: reemplazar o quitar los suelos blandos, instalar sistemas de drenaje durante la construcción, suavizar los taludes del terraplén.

d) CIMENTACIONES RELATIVAMENTE SECAS

Son suelos buenos desde que la relación de vacíos sea adecuada. Si el suelo es seco y de baja densidad pueden surgir asentamientos considerables cuando se cargue la presa y se sature el suelo, causando la falla bien sea por asentamientos totales y disminución del borde libre de la presa, o por asentamientos parciales que pueden partir el núcleo impermeable.

Medidas constructivas a tomar son: reemplazo del suelo; delantales impermeables aguas arriba; filtro permeable aguas abajo; humedecimiento previo del suelo.

e) CIMENTACIONES EN ARENA Y GRAVA

Frecuentemente la cimentación de presas flexibles consiste en depósitos aluviales de arena y grava relativamente permeables. Se presentan los siguientes problemas básicos: magnitud de las filtraciones subterráneas, presiones producidas por las filtraciones; tubificaciones; y licuefacción. Arenas sin cohesión de baja densidad son peligrosas como fundación. Al presentarse pérdidas de agua del embalse hay que hacer la consideración sobre qué sale más caro: si el agua que se pierde o el tratamiento antifiltrante.

Todas las presas construidas sobre material permeable deben tener un dren aguas abajo.

(González de Vallejo Luis I, 2004), la elección del tipo de presa depende en primer lugar de las condiciones de cimentación. Cualquier tipo de presa de hormigón exige que las deformaciones en el macizo rocoso sean compatibles con las del hormigón; es decir, que no se superen ciertos niveles de deformación no soportables por la estructura de la presa; así, no es posible cimentar este tipo de presas en suelos o rocas blandas. Tampoco una presa de hormigón sería una solución adecuada si la profundidad de la cimentación requiriera una excavación muy profunda (por presencia de materiales muy alterados o tectonizados en relación con la altura de la presa); en estas situaciones el volumen de excavación supondría un coste elevado.

2.1.5. CERRADA

(González de Vallejo Luis I, 2004), En general, las cerradas deben reunir condiciones de baja permeabilidad. Los efectos de las filtraciones, prácticamente presentes en la mayoría de los macizos, bien a través de fracturas o discontinuidades o a través de zonas alteradas, son especialmente críticos para las cimentaciones al ocasionar los siguientes problemas:

- ❖ Subpresiones en la base de la presa.
- ❖ Inestabilidades en la zona de aguas abajo de la presa.
- ❖ Creación de gradientes elevados con altas velocidades de filtración y riesgo de erosiones internas.
- ❖ Inestabilidad de taludes en los estribos.
- ❖ Pérdidas significativas de caudales.

2.1.6. TALUDES

Son las dos superficies principales que limitan el cuerpo de la presa, el interior o de aguas arriba, que está en contacto con el agua, y el exterior o de aguas abajo.

2.1.7. EL ALIVIADERO

También denominado vertedero hidráulico es la estructura hidráulica por la que rebosa el agua excedentaria cuando la presa ya está llena.

Son las estructuras que permiten el vaciado del embalse a través de la propia presa o por medio de estructuras independientes. Se diseñan para caudales máximos estimados en base al estudio de las series históricas de precipitación, conocidas o evaluadas, en la cuenca de recepción afectada por la cerrada. La localización y configuración del aliviadero depende del tipo de presa, y de las condiciones topográficas o geológico-geotécnicas de la cerrada y su entorno. En las presas de materiales sueltos el aliviadero se construye con independencia al cuerpo de presa (González de Vallejo Luis I, 2004).

(González de Vallejo Luis I, 2004), en una presa de materiales sueltos la insuficiencia de aliviadero puede producir su rotura. Aun antes de volcar las aguas, el rompiente de las olas puede abrir brechas en coronación, que determinan el paso de las aguas y el arrastre de la presa.

2.1.8. EL DESAGUE DE FONDO

Permite mantener el denominado caudal ecológico aguas abajo de la presa y vaciar la presa en caso de ser necesario.

Las tomas son también estructuras hidráulicas, pero de menor entidad, y son utilizadas para extraer agua de la presa para un cierto uso, como puede ser abastecimiento a una central hidroeléctrica o a una ciudad.

2.2. PROCESOS DE LA SATURACION DE LA CIMENTACION

Cuando se está construyendo una obra sobre suelos parcialmente saturados, es preciso tener en cuenta que el proceso de saturación en sí mismo puede inducir efectos más importantes que si el suelo hubiera estado saturado desde antes de construir una cimentación. Como luego se verá, la saturación implica cambios de volumen del suelo, que en determinados casos pueden ser importantes. En estas condiciones, es más perjudicial que dichos cambios tengan lugar cuando la obra ya está construida y en servicio. Los suelos granulares (gravas y arenas) apenas sufren cambios de volumen al saturarse. El problema se reduce a los suelos de grano fino.

El criterio más influyente en las presas de materiales sueltos es la disponibilidad de materiales. Los núcleos impermeables precisan suelos de baja permeabilidad (en general inferior a 10^{-5} cm/s) y se descartan los suelos colapsables, orgánicos, solubles y de alta plasticidad. El entorno geológico habitual donde se sitúan estas presas puede responder a formaciones sedimentarias, suelos aluviales, arcillas sobreconsolidadas o rocas blandas. Se deben descartar los materiales erosionables, dispersivos y solubles, y los de alta permeabilidad (González de Vallejo Luis I, 2004).

2.2.1. SUELOS EXPANSIVOS EN LA CIMENTACION

El comportamiento descrito es típico de los suelos finos normales, con deformaciones significativas pero moderadas (expansiones del orden del 1% o ligeramente superiores). Sin embargo, existen algunos suelos en los que la expansión por saturación es significativamente superior. Estos suelos se denominan "expansivos".

El carácter expansivo de un suelo suele estar asociado a la presencia de algunos minerales arcillosos, que tienen la propiedad de admitir moléculas de agua en el interior de su red cristalina. De ellos el más frecuente es la montmorillonita. El carácter expansivo de estas especies mineralógicas va asociado a una gran actividad, que se manifiesta también en una elevada plasticidad, siendo frecuentes límites líquidos incluso superiores a 100%. Esto permite identificar la posible presencia de estos minerales, y por tanto adoptar las medidas para evaluar y tener en cuenta su carácter expansivo.

2.3. PRESION DE POROS EN LA CIMENTACION

En un material agregado como el suelo, la presión de poros es la presión del agua que llena los espacios vacíos. Ocurre que cuando esa presión llega a cierto valor, el suelo se vuelve inestable, debido a que las partículas pierden cohesión entre sí. En un suelo se debe controlar la presión de los líquidos lixiviados, mediante un adecuado drenaje.

En cualquier material trifásico (sólido, líquido, gaseoso) como los suelos naturales o artificiales (como es el caso de terraplenes de presas) la presión de poro corresponde a la presión del agua entre los espacios intersticiales de los sólidos. En estos materiales la resistencia mecánica está en función del esfuerzo efectivo (esfuerzo total - presión de poro) y a mayores presiones de poro menor es su resistencia.

En los suelos es importante controlar la presión de poros para aumentar su resistencia mecánica. Esto se logra mediante la colocación de drenes profundos, capas de geotextil drenante y sistemas de canales para la evacuación.

Según Caverro P. Cristina (2010) La presión de poros está definida como la presión que ejerce un fluido en los espacios porosos de la roca. También es llamada presión de formación o presión poral, está en función de los fluidos de formación y de las cargas que están soportando.

(Terzaghi, 1925, 1936; Skempton, 1960), El esfuerzo total que obra en cualquier punto de una sección de suelo saturado o de roca, puede dividirse en dos partes. Una de ellas, llamada presión intersticial, presión de poro o esfuerzo neutro actúa en el agua y en el sólido con igual intensidad y en todas direcciones. La otra parte, conocida como esfuerzo efectivo p , representa el exceso sobre el esfuerzo neutro, y actúa exclusivamente entre los puntos de contacto de los componentes sólidos.

2.3.1. COMPACTACIÓN DE SUELOS

La compactación es un proceso por el cual se disminuye el índice de poros de los suelos, sin variar su contenido de humedad (cuando se disminuye la humedad, se suele hablar de "deseccación", no de compactación). Aunque hay procesos naturales de compactación, el interés se centra en los procesos artificiales. Suele distinguirse entre:

Compactación superficial: la que se consigue mediante el paso de elementos compactadores sobre la superficie del terreno. Es el procedimiento usual para construcción de rellenos, terraplenes o presas de materiales sueltos.

Compactación profunda: se aplica para mejorar las características de terrenos o rellenos preexistentes, de espesor considerable. Se realiza en el interior del terreno mediante diversos procedimientos (vibroflotación, columnas de grava, voladuras, inyecciones, etc.). Todos ellos requieren el uso de maquinaria especializada.

Aunque gran parte de los conceptos son generales, nos referiremos en lo que sigue a la compactación superficial.

El alcance de la compactación en profundidad es pequeño, por lo que el material se extiende pequeños espesores (del orden de decímetros), compactando cada capa antes de extender la siguiente. En general se utilizan rodillos estáticos o vibratorios, que provocan presión estática e impacto. El

efecto dinámico de la vibración es especialmente eficaz en suelos granulares. En el caso de suelos arcillosos (por ejemplo, en núcleos impermeables de presas de tierras), se emplean rodillos de pata de cabra, que inducen compactación por amasado.

2.3.1.1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

La compactación es un proceso rápido. La actuación de los elementos compactadores sobre cada punto dura escasos segundos, por lo que no da tiempo a que se produzca expulsión de agua del interior del terreno.

En consecuencia, el proceso tiene lugar sin drenaje, por lo que sólo tiene sentido en el caso de suelos parcialmente saturados. En un suelo saturado en el que no se produce variación del contenido de agua, el volumen no varía, al ser incompresibles tanto el agua como las partículas sólidas.

2.4. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE FUNDACION

Según G. G. Meyerhoff (1953), Las propiedades mecánicas de un terreno suelen diferir frente a cargas que varían casi instantáneamente y cargas cuasi permanentes. Esto se debe a que los terrenos son porosos, y estos poros pueden estar total o parcialmente saturados de agua. Sin producir el desalojo de una cantidad apreciable de agua. En cambio bajo cargas permanentes la diferencia de presión intersticial entre diferentes partes del terreno produce el drenaje de algunas zonas.

Según G. G. Meyerhoff (1953), En el cálculo o comprobación de la capacidad portante de un terreno sobre el que existe una construcción debe atenderse al corto plazo (caso sin drenaje) y al largo plazo (con drenaje). En el comportamiento a corto plazo se desprecian todo los términos excepto la cohesión última, mientras que en la capacidad portante a largo plazo (caso con drenaje) es importante también el rozamiento interno del terreno y su peso específico.

2.4.1. LA ECUACIÓN GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Meyerhof (1963)

Según G. G. Meyerhof (1953), propuso la siguiente ecuación para calcular capacidad admisible en terrenos de forma de zapata corrida la misma forma rectangular de la presa:

Carga vertical:

$$Q_u = c * N_c * S_c * D_c + \gamma * D * N_q * S_q * D_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * D_\gamma \dots \dots \dots (2.1.)$$

Carga inclinada:

$$Q_u = c * N_c * S_c * D_c * I_c + \gamma * D * N_q * S_q * D_q * I_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * D_\gamma * I_\gamma$$

Donde:

N_c, N_q, N_r , Factores de capacidad de Meyerhof que depende de, ϕ .

$$N_c = \cot\theta(N_q - 1)$$

$$N_q = e^{\pi \tan\phi} \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\theta)$$

S_c, S_q, S_γ , Factores de forma

D_c, D_q, D_γ , Factores de profundidad

I_c, I_q, I_γ , Factores para cargas inclinadas

Tabla 2.1. Factores de forma, profundidad y inclinada.

Angulo de fricción	Factores de forma	Factores de profundidad	Factores de carga inclinada
Solo ϕ	$S_c = 1 + 0.2 * Kp(\frac{B}{L})$	$D_c = 1 + 0.2 * \sqrt{Kp} * (\frac{B}{L})$	$I_c = I_q = (1 - \frac{\theta}{90^\circ})^2$
$\phi = 0$	$S_q = S_\gamma = 1$	$D_q = D_\gamma = 1$	$I_\gamma = 1$
$\phi \geq 10^\circ$	$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1 * Kp(\frac{B}{L})$	$D_q = D_\gamma = 1 + 0.1 * \sqrt{Kp} * (\frac{B}{L})$	$I_\gamma = (1 - \frac{\theta}{\phi})^2$

Dónde:

C: Cohesión del suelo

γ : Peso específico del suelo

D: Profundidad de desplante

B, L: Ancho y longitud del desplante o cimentación

$K_{pr} = \tan^2(45+\phi/2)$, coeficiente de presión pasiva.

θ = ángulo de carga axial al eje vertical

$$Qa = \frac{Qu}{F.S.} \dots\dots\dots(2.2.)$$

Qa=capacidad de carga admisible

Qu=capacidad de carga ultima

F.S.=Factor de seguridad

Tabla 2.2. Factores de capacidad de carga de Meyerhof

ϕ	Nc	Nq	Nr
0	5.1	1	0
5	6.5	1.6	0.1
10	8.3	2.5	0.4
15	11	3.9	1.2
20	14.9	6.4	2.9
25	20.7	10.7	6.8
30	30.1	18.4	15.1
35	46.4	33.5	34.4
40	75.3	64.1	79.4

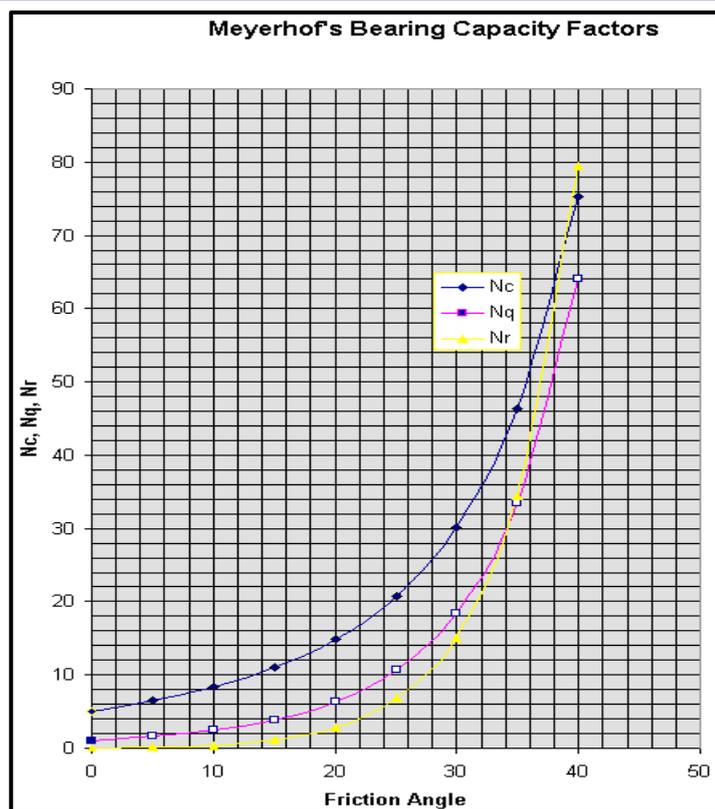


Figura 2.1. Factores de capacidad de carga de Meyerhof.

2.5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos geotécnicos de laboratorio son pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico. Estos ensayos se ejecutan sobre las muestras previamente obtenidas en el terreno y, dependiendo del tipo de ensayo, se exigen distintas calidades de muestra.

Los ensayos realizados según ASTM fueron los siguientes: Humedad Natural, Análisis granulométrico por tamizado, Constantes físicas límite líquido(LL) y límite plástico(LP), índice de plasticidad(IP), Clasificación de suelos, SUCS, AASHTO, Ensayo de corte directo, Ensayo de Permeabilidad, ensayo de penetración ddinámica del tipo ligero (DPL).

2.5.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D-421)

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).

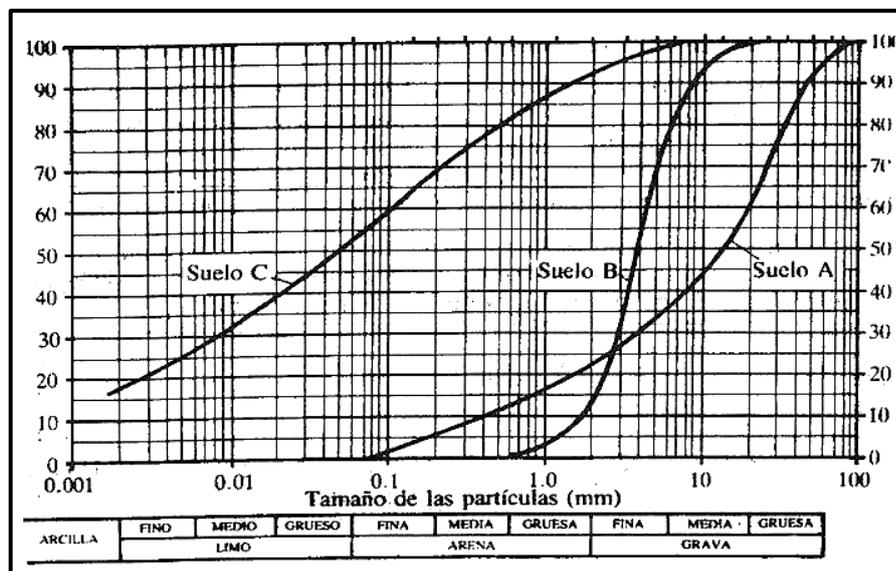


Figura 2.2. Curva granulométrica.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

Esta normado por ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

Tabla 2.3. Mallas y abertura, Manual de Ensayo de Materiales, 2012.

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
#"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

2.5.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos,¹ aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916).

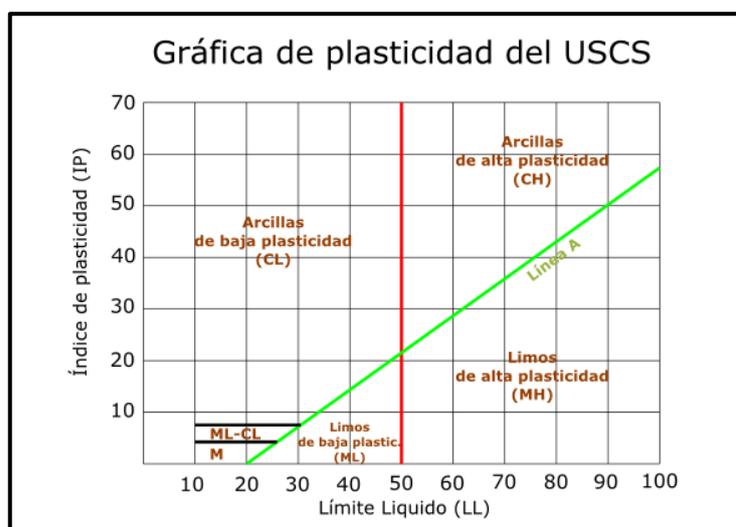


Figura 2.3. Tabla de clasificación de materiales en función de los límites de Atterberg.

a) LÍMITE LÍQUIDO

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo. Se considera que la resistencia al corte no drenada del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi). El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm

en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.

b) LIMITE PLÁSTICO

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), para determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

c) ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Es un parámetro físico que se relaciona con la facilidad de manejo del suelo, por una parte, y con el contenido y tipo de arcilla presente en el suelo, por otra: Se obtiene de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

$IP = LL - LP > 10$ plástico.

$IP = LL - LP < 10$ no plástico.

Valores Menores de 10 indican baja plasticidad, y valores cercanos a los 20 señalan suelos muy plásticos.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

2.5.3. CORTE DIRECTO

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), Tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo.

Este modo operativo es adecuado para la determinación rápida de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados. Debido a que las trayectorias de drenaje a través de la muestra son cortas, se permite que el exceso de presión en los poros sea disipado más rápidamente que con otros ensayos drenados. El ensayo puede ser hecho en todo tipo de suelos inalterados, remoldeados o compactados. Hay sin embargo una limitación en el tamaño máximo de las partículas presentes en las muestras.

Los resultados del ensayo son aplicables para estimar la resistencia al corte en una situación de campo donde ha tenido lugar una completa consolidación bajo los esfuerzos normales actuales. La ruptura ocurre lentamente bajo condiciones drenadas, de tal manera que los excesos de presión en los poros quedan disipados. Los resultados de varios ensayos pueden ser utilizados para expresar la relación entre los esfuerzos de consolidación y la resistencia al corte en condiciones drenadas.

ASTM D 3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

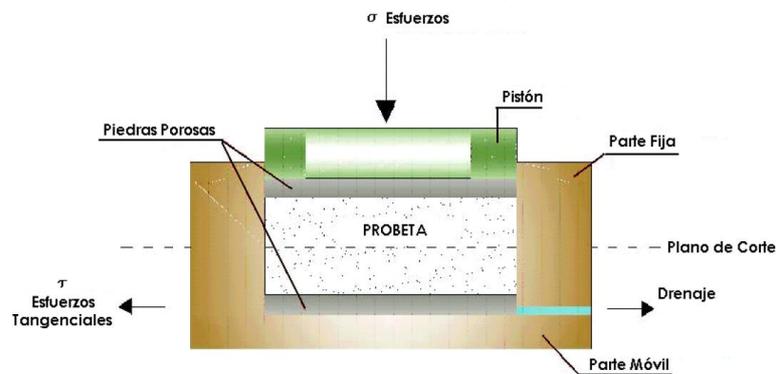


Figura 2.4. Esquema del aparato de corte directo (Geotecnia LNV, 1993.).

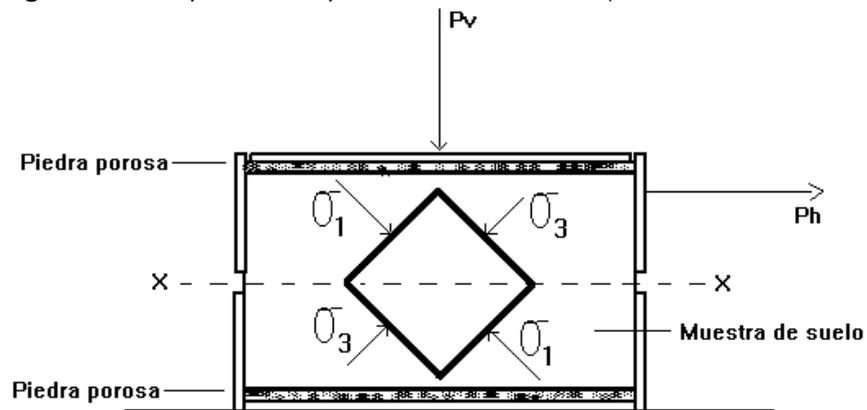


Figura 2.5. Esquema de corte directo (Geotecnia LNV, 1993.).

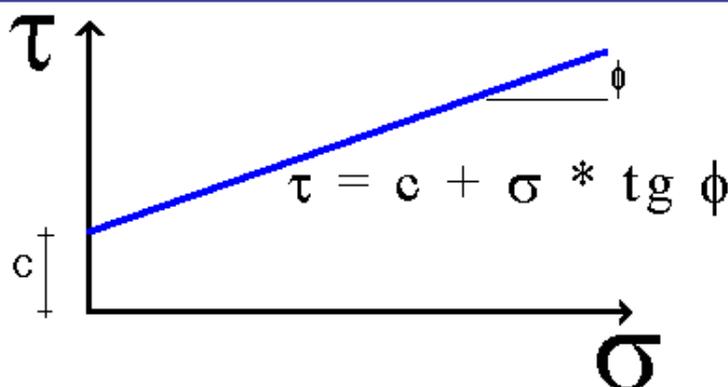


Figura 2.6. Recta intrínseca (Espinace R., 1979).

2.5.4. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si la cantidad de fluido es despreciable (Lambe. T. W. & Whitman, 1997).

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos: la porosidad del material y su estructura; la viscosidad del fluido considerado, afectada por su temperatura; la presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que permitan un paso fácil del fluido a través del material. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

Por otro lado, hay que hablar de una "permeabilidad intrínseca" (también llamada "coeficiente de permeabilidad"); como constante ligada a las características propias o internas del terreno. Y de una "permeabilidad real" o de Darcy, como función de la permeabilidad intrínseca más las de las características del fluido.

Existen dos tipos de ensayos, aquellos de carga variable, y los de carga constante. Los de carga variable tienen una mejor precisión para suelos de baja

permeabilidad (cohesivos), mientras que los de carga constante son más apropiados para suelos de alta permeabilidad (granulares), (Lambe & Whitman, 1969).

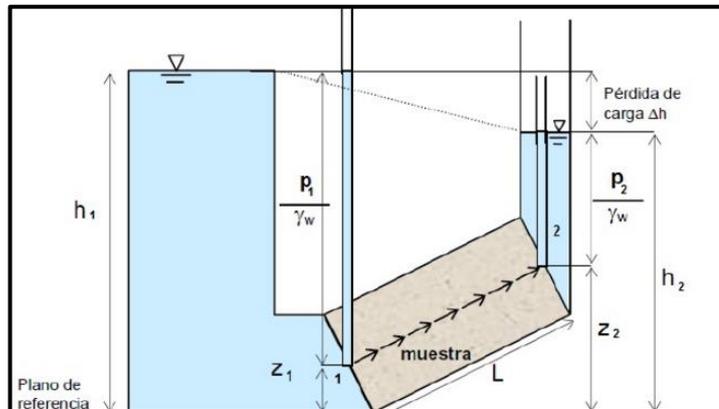


Figura 2.7. Gradiente hidráulico (Darcy 1856).

$$Q = \frac{\partial V}{\partial t} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q = k \cdot i \cdot A \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

Q = Caudal o gasto en (cm/s²)

∂V =Variacion de volumen en un diferencial de tiempo

∂t =Diferencia de tiempo

k =Coeficiente de permeabilidad (cm/seg)

i =Gradiente hidraulico (adimensional)

A =Sección transversal del filtro (cm²)

Si se considera la ecuación de continuidad

$$Q = v \cdot A \dots\dots\dots(2.5)$$

Dónde:

Q = Caudal o gasto en (cm/s²)

v =Velocidad (cm/seg)

A =Area transversal (cm²)

Ley de Darcy:

$$v = k \cdot i \dots\dots\dots(2.6)$$

2.5.4.1. INFILTRÓMETRO

El infiltrómetro es un dispositivo que permite medir la capacidad de infiltración de los suelos. Existen diversos tipos de infiltrómetros, entre los que se pueden mencionar (Cox. C, 2006).

Infiltrómetro de cilindro o de inundación, estos a su vez pueden ser de cilindro simple o de doble cilindro. Este procedimiento es aplicado muy frecuentemente, en cualquiera de sus modalidades. El uso del doble cilindro da una mejor evaluación, ya que en este procedimiento se limita la influencia del contorno, obteniéndose una mejor precisión en la determinación de la tasa de infiltración vertical. Cualquiera de estos dos tipos se le puede adaptar un dispositivo que mantenga el nivel del agua constante en el único cilindro, para el caso del infiltrómetro de un cilindro, y en el cilindro interior, si se trata de un infiltrómetro de doble cilindro (E. Amézketa Lizarraga, 2002).

Infiltrómetro de disco, también se puede determinar la capacidad de infiltración con un simulador de lluvia. Este procedimiento consiste en aplicar sobre el suelo una cantidad conocida de agua. La tasa de infiltración se obtiene mediante la resta de la cantidad de agua aplicada el volumen de agua que escurre superficialmente (R. Aragüés Lafarga, 2002).

La ecuación para calcular la permeabilidad en campo se determina con la ecuación siguiente:

$$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2 \cdot h_1 + R}{2 \cdot h_2 + R}\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Donde:

k = Coeficiente de permeabilidad en (cm/s)

R = Radio del infiltrómetro (m)

t_2, t_1 =Tiempos iniciales y tiempo final (s)

h_2, h_1 =Altura inicial y final de descenso (m)

2.5.4.2. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN CALICATAS

En calicatas, es posible la realización de ensayos de permeabilidad mediante llenado de agua hasta una cota superior al nivel freático circundante, y luego midiendo el descenso del nivel de agua en la cata con el tiempo, o bien achicando el agua del interior y dejando posteriormente recuperar el nivel.

En cualquier caso, el ensayo permite, mediante la aplicación de la formulación correspondiente, estimar el coeficiente de permeabilidad midiendo el tiempo de recuperación.

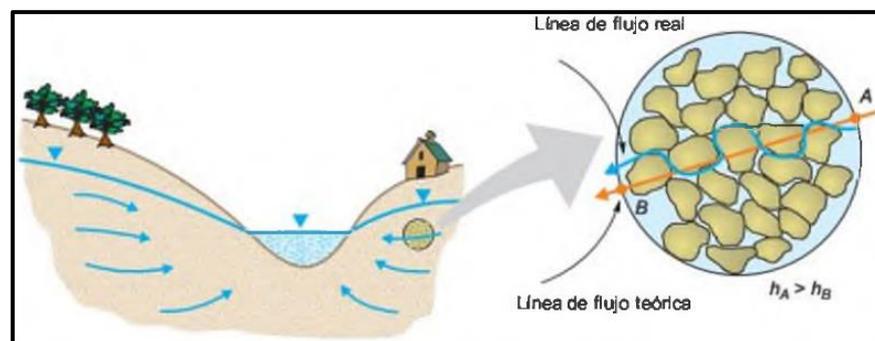


Figura 2.8. Trayectorias de filtración de suelos (Gonzales Del V. L, 2002).

Tabla 2.4. Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos (Gonzales Del V. L, 2002)

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

La sección mínima recomendada es de 0.80 m por 1.00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. Excavado deberá depositarse en

la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes. Se dejarán plataformas o escalones de 0.30 a 0.40 metros al cambio de estrato, reduciéndose la excavación. Esto permite una superficie para efectuar la determinación de la densidad del terreno. Se deberá dejar al menos una de las paredes lo menos remodelada y contaminada posible, de modo que representen fielmente el perfil estratigráfico del pozo. En cada calicata se deberá realizar una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida.

Tabla 2.5. Permeabilidades típicas de algunos suelos (Suarez D. 1993).

Tipo de suelo	K (cm/seg)
Gravas limpias.	10^{-1}
Arenas limpias, gruesas.	$1-10^{-2}$
Arenas limpias. Mezclas de gravas y arenas limpias.	$1-10^{-3}$
Arenas finas.	$5 \times 10^{-2} - 10^{-3}$
Arenas limosas.	$2 \times 10^{-3} - 10^{-4}$
Limos.	$5 \times 10^{-4} - 10^{-5}$
Arenas limo-arcillosas.	$10^{-4} - 10^{-7}$
Arcillas.	Menor de 10^{-6}

Según Luthin (1966), :Las pruebas de agotamiento y recuperación son un método de terreno que permite identificar la conductividad hidráulica de un suelo en forma directa, a través de experiencias que involucran la excavación de una zanja, pozo o noria de pequeña profundidad que compromete al menos una parte de la napa de aguas subterráneas. Mediante el uso de una bomba de pequeño caudal es posible extraer el agua del pozo (agotamiento) y luego se mide la recuperación de la napa a lo largo del tiempo. A partir de la información de niveles y de la geometría del pozo es posible estimar el coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

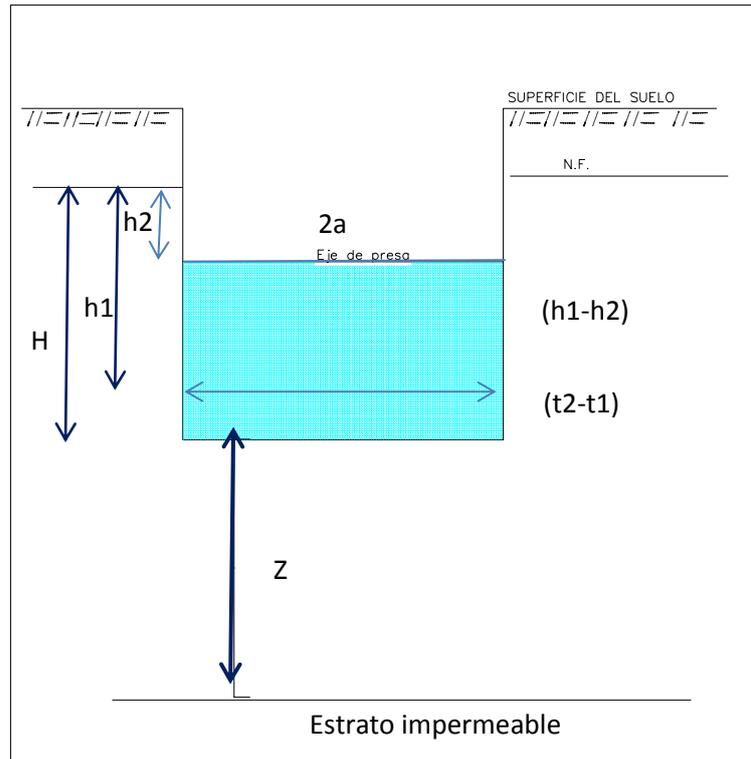


Figura 2.9. Esquema de para el cálculo de permeabilidad (k) en calicatas.

En el caso que la perforación atravesase sólo parcialmente la napa, el coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación (Luthin, 1966):

$$K = \frac{R.S}{2*H+R} * \frac{\ln(\frac{h1}{h2})}{(t1-t2)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Donde S:

$$s = R * H/0.19 \dots\dots\dots(2.9)$$

Dónde:

K =Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

R =Radio de la calicata (m)

h1 = Altura final (m)

h2 = Altura inicial (m)

t1 = Tiempo inicial(s)

t2 = Tiempo final (s)

t2 = Profundidad de la calicata (m)

Z = Profundidad al nivel del estrato impermeable (m)

Tabla 2.6. Coeficientes de permeabilidad (k),

(http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)

K m/s	Tipo de suelo - Permeabilidad	K m/s
10		10
10 ⁻¹	Grava limpia	10 ⁻¹
10 ⁻²		10 ⁻²
10 ⁻³	Arenas limpias	10 ⁻³
10 ⁻⁴	Arena limpia y mezclas de grava	10 ⁻⁴
10 ⁻⁵		10 ⁻⁵
10 ⁻⁶	Arenas muy finas	10 ⁻⁶
10 ⁻⁷	Limos orgánicos e inorgánicos	10 ⁻⁷
10 ⁻⁸	Mezclas de arena, limo y arcilla	10 ⁻⁸
10 ⁻⁹	Depósitos estratificados de arcilla, etc.	10 ⁻⁹
10 ⁻¹⁰		10 ⁻¹⁰
10 ⁻¹¹	Suelos impermeables, por ejemplo, arcillas homogéneas por debajo de la zona de meteorización	10 ⁻¹¹

¹ Prácticamente impermeable.

2.5.4.3. FACTORES QUE AFECTAN A LA PERMEABILIDAD

Muchos factores afectan a la permeabilidad del suelo. En ocasiones, se trata de factores en extremo localizados, como fisuras y cárcavas, y es difícil hallar valores representativos de la permeabilidad a partir de mediciones reales. Un estudio serio de los perfiles de suelo proporciona una indispensable comprobación de dichas mediciones. Las observaciones sobre la textura del suelo, su estructura, consistencia, color y manchas de color, la disposición por capas, los poros visibles y

la profundidad de las capas impermeables como la roca madre y la capa de arcilla*, constituyen la base para decidir si es probable que las mediciones de la permeabilidad sean representativas. El suelo está constituido por varios horizontes, y que, generalmente, cada uno de ellos tiene propiedades físicas y químicas diferentes. Para determinar la permeabilidad del suelo en su totalidad, se debe estudiar cada horizonte por separado.

2.5.5. ENSAYO PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL)

Para la determinación del Ensayo D.P.L El ensayo de Penetración Dinámica del Tipo Ligero (Norma DIN 4049) para evaluar la capacidad portante del subsuelo de manera directa, se ha realizado mediante la medición de la resistencia que ofrece el suelo al avance del aparato llamado penetrómetro, mediante golpes (penetrómetro dinámico).

El objetivo específico de este ensayo, se efectúa colocando un espécimen del suelo sometido a una carga normal para aplicarse el esfuerzo cortante para determinar los valores de cohesión y el ángulo de fricción interna. Normalmente en este ensayo se efectúan varias pruebas diferentes para obtener los cálculos del suelo en que se va a trabajar y realizar nuestro proceso de diseño y/o constructivo como ingenieros civiles. Este ensayo se impone sobre un suelo en condiciones idealizadas, o que indique la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado en la dirección horizontal. Sobre este plano actúan dos fuerzas, una normal por una carga vertical aplicada y un esfuerzo cortante debido a la acción de una carga horizontal. Para realizar respectivos ensayos siempre debemos tener en cuenta: si el suelo es cohesivo y los respectivos cálculos, se realizan a las 24 horas de haber saturado la muestra (CASTAÑEDA SANTA CRUZ L. Roberto, 2014).

Los ensayos o pruebas de penetración son pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico. Constituyen un método sencillo e intuitivo de apreciar la consistencia de un terreno: forzar la

penetración de un elemento, relacionando dicha consistencia con la aparición de la resistencia que opone el terreno a la hincada de este elemento. Igualmente, puede deducirse de esta forma la cota de aparición de estrato duro (por ejemplo, el sustrato rocoso) por la imposibilidad de penetrar más allá de dicha profundidad (CASTAÑEDA SANTA CRUZ L. Roberto, 2014).

Con los datos de resistencia a la penetración que se obtienen en un ensayo de estas características, es posible, gracias a la experiencia geotécnica, establecer una serie de correlaciones para distintos tipos de suelo, con el fin de conseguir caracterizarlo geotécnicamente. Aunque su utilidad sea grande, particularmente en la determinación de la profundidad de las capas competentes o de rechazo en la hincada, dicha técnica de reconocimiento del terreno de la que se obtiene de forma indirecta las características y propiedades del terreno, ha de ser por fuerza de poca precisión. Esto hace que haya quien no considere estos métodos, auténticos ensayos "in situ", denominándolos más bien como pruebas de penetración, o directamente con el término de "penetrómetro" (CASTAÑEDA SANTA CRUZ L. Roberto, 2014).

Este método describe el procedimiento generalmente conocido como ensayo de penetración ligera, consiste en introducir al suelo una varilla de acero, en una punta se encuentra un cono metálico de penetración con 60° de punta, mediante la aplicación de golpes de un martillo de 10kg que se deja caer desde una altura de 0.50m.

Este ensayo impone sobre un suelo condiciones idealizadas, o sea indicala ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado en la dirección horizontal. Sobre este plano actúan dos fuerzas, una normal por una carga vertical aplicada y un esfuerzo cortante debido a la acción de una carga horizontal.

Este ensayo determina las condiciones de resistencia del terreno del suelo de fundación de las estructuras. El ensayo DPL (DIN 4094), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 Kg. de peso, que cae libremente desde una altura de 50

cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo, para cada 30 cm de hincado.

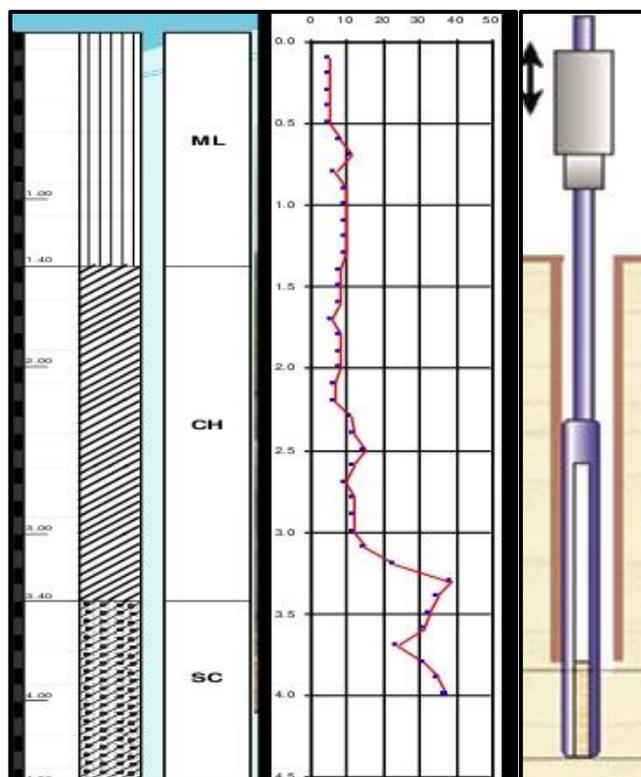


Figura 2.10. Diagrama del ensayo DPL

2.6. PRECIPITACION

Según, Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays(1998), la precipitación incluye lluvia, nevadas y otros procesos por los cuales cae agua a la superficie de la tierra, como el granizo y el aguanieve. La formación de precipitación requiere el levantamiento de una masa de aire en la atmósfera para que se enfríe y parte de su la humedad se condensa. Los tres principales mecanismos de elevación de masa de aire son frontales levantamiento, donde el aire caliente se levanta sobre el aire más frío por el paso frontal; orográfico levantamiento, en el que una masa de aire se eleva para pasar por una cordillera; y convectivo levantamiento, donde el aire es arrastrado hacia arriba por acción convectiva, como en el centro de una celda de tormenta. Las células convectivas se inician por calentamiento superficial, que causa una inestabilidad vertical del aire húmedo, y se sostienen

por el calor latente de vaporización abandonada a medida que el vapor de agua se eleva y se condensa.

La formación de precipitación en las nubes como el aire se eleva y se enfría, el agua se condensa desde el vapor al estado líquido. Si la temperatura está por debajo del punto de congelación, luego se forman cristales de hielo.

La condensación requiere una semilla llamada núcleo de condensación alrededor del cual las moléculas de agua pueden unirse o nuclearse a sí mismas. Partículas de polvo flotando en el aire puede actuar como núcleos de condensación; las partículas que contienen iones son núcleos efectivos porque los iones atraen electrostáticamente las moléculas de agua polares. Iones en la atmósfera incluyen partículas de sal derivadas de rocío de mar evaporado, y compuestos de azufre y nitrógeno resultantes de la combustión. Los diámetros de estas partículas varían de 10^{-3} a $10 \mu\text{m}$ y las partículas se conocen como aerosoles. A modo de comparación, el tamaño de un átomo es de aproximadamente $10^{-4} \mu\text{m}$, por lo que los aerosoles más pequeños puede estar compuesto de solo unos pocos cientos de átomos (Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays, 1998),

2.7. INFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES

Según, Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays(1998), la infiltración es el proceso de penetración de agua desde la superficie del suelo hacia el suelo. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluida la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, como su porosidad y conductividad hidráulica, y el contenido actual de humedad del suelo. Estratos del suelo con diferentes propiedades físicas pueden superponerse, formando horizontes, para ejemplo, un suelo limoso con una conductividad hidráulica relativamente alta puede superponerse a zona de arcilla de baja conductividad. Además, los suelos muestran una gran variabilidad espacial incluso dentro de áreas relativamente pequeñas, como un campo. Como resultado de estos grandes espacios variaciones y las variaciones de tiempo en las propiedades del suelo que se producen como la humedad del suelo cambios

de contenido, la infiltración es un proceso muy complejo que solo se puede describir aproximadamente con ecuaciones matemáticas.

La tasa de infiltración, expresada en pulgadas por hora o centímetros por hora, es la velocidad a la que el agua ingresa al suelo en la superficie. Si el agua se pone en el superficie, la infiltración ocurre a la tasa de infiltración potencial. Si la tasa de suministro de agua en la superficie, por ejemplo, por lluvia, es menor que la posible infiltración tasa entonces la tasa de infiltración real también será menor que la tasa potencial. Más las ecuaciones de infiltración describen la tasa potencial. La infiltración acumulada F es la profundidad acumulada de agua infiltrada durante un período de tiempo dado y es igual a la integral de la tasa de infiltración durante ese período (Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays, 1998).

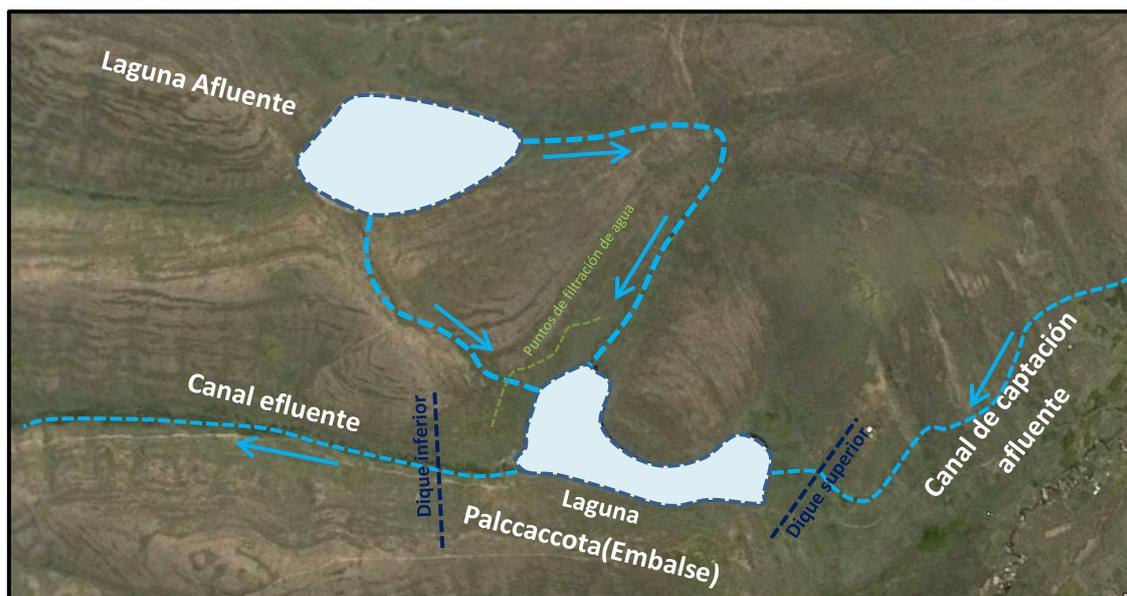


Figura 2.11. Diagrama superficial de flujo de agua.

CAPITULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La zona de Estudio se encuentra ubicada geográficamente en la parte sur del Perú en el departamento de Cusco, Provincia de Espinar, en el distrito de Pallpata comunidad de Pallpata, Laguna Palccaccota.

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

Región	:	Cusco
Provincia	:	Espinar
Distrito	:	Pallpata
Comunidad	:	Pallpata
Sector	:	Laguna Palccaccota.

3.1.2. UBICACIÓN CARTOGRÁFICA

Datum	:	WGS84
Proyección	:	UTM
Zona UTM	:	19 K
Carta	:	30 T

3.1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Este	:	274440.00 UTM.
Norte	:	8355525.78 UTM.
Altitud	:	4144 m.s.n.m.

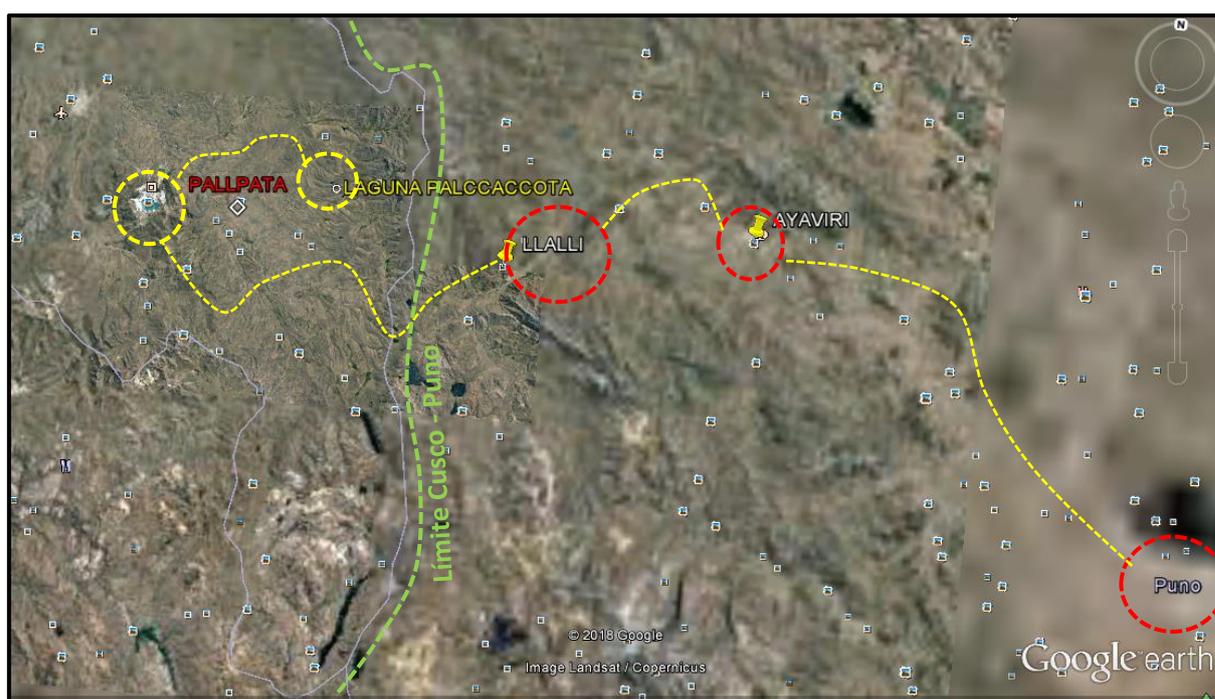
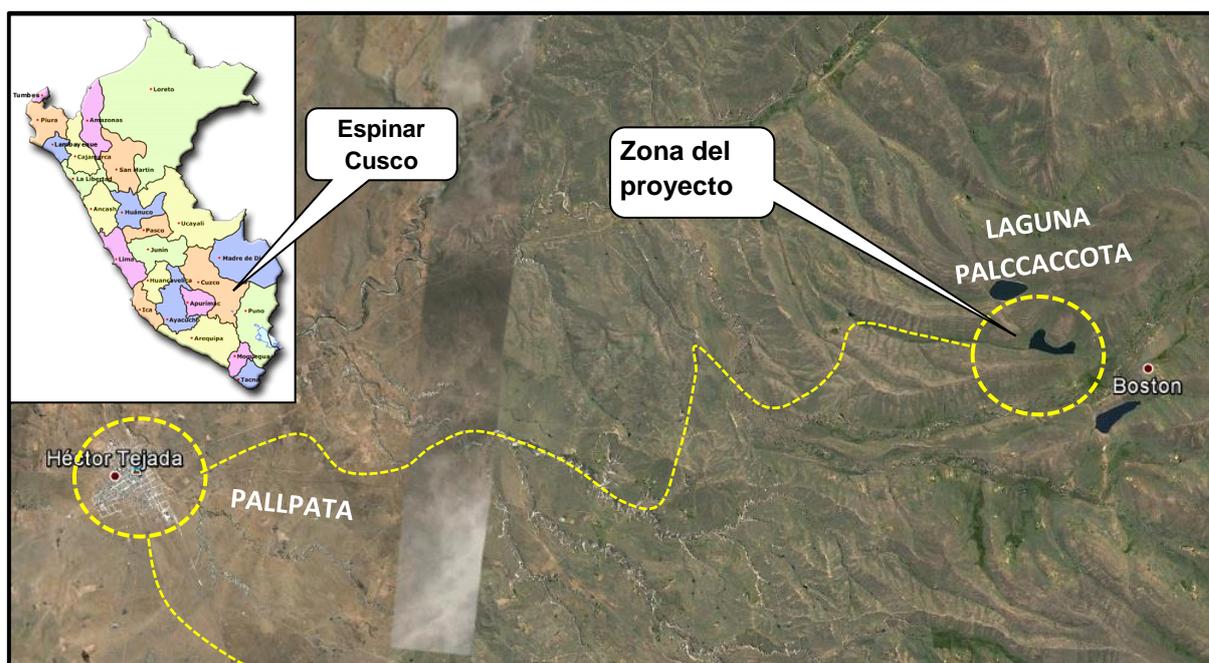


Figura 3.1. Ubicación geográfica del proyecto (Elaboración propia programa Google earth 2012).

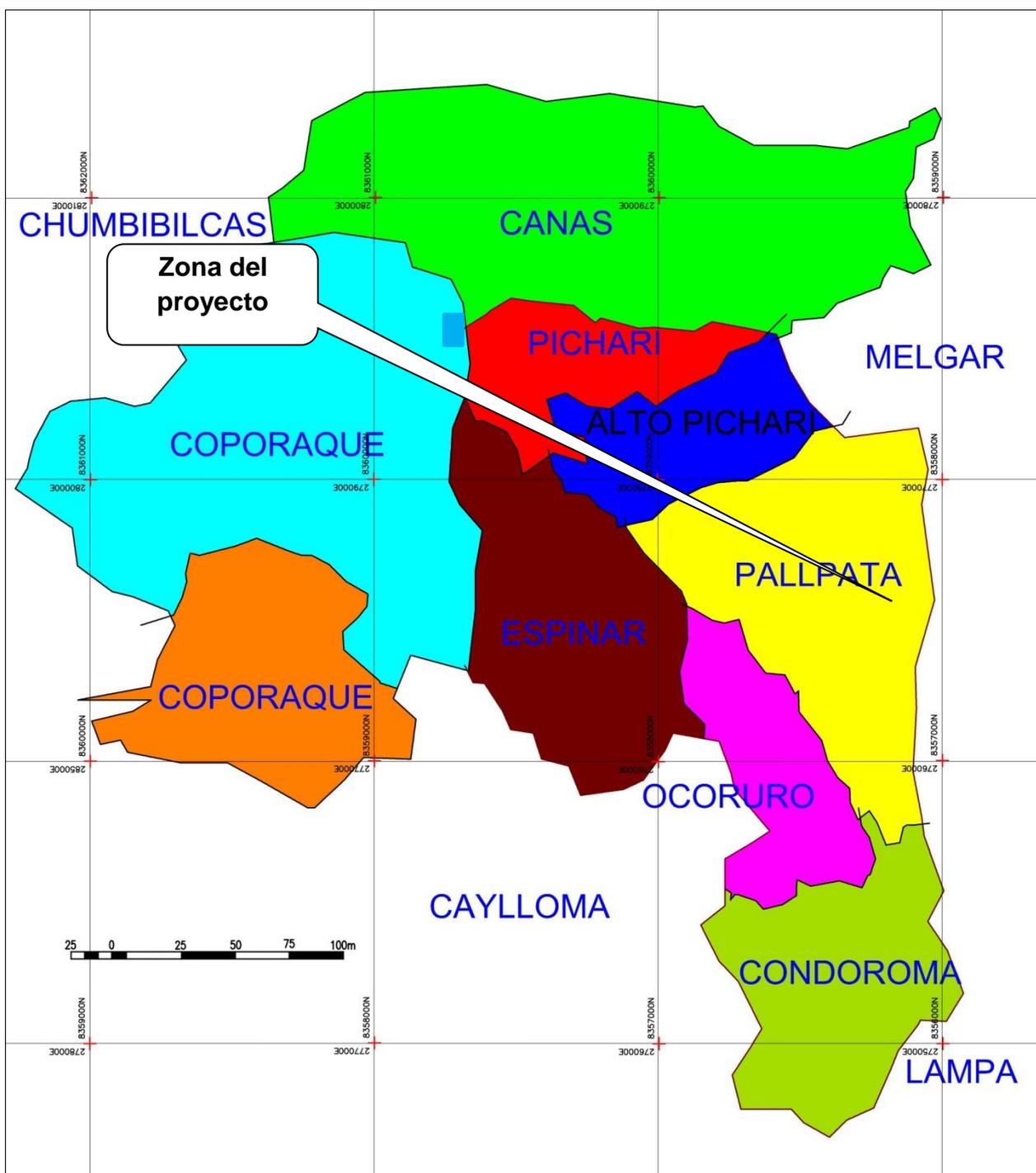


Figura 3.2. Ubicación de ubicación del distrito de Pallapata.

3.2. ACCESIBILIDAD

Las vías existentes se presentan en la tabla siguiente:

Cuadro 3.1. Por la ciudad del Puno (Elaboración propia).

N°	TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VIA	VIA PRINCIPAL
		(Km.)	(Min.)		
1	Puno – Juliaca	44	45	Asfaltada	Puno – Juliaca
2	Juliaca – Ayaviri	55	60	Asfaltada	Juliaca – Ayaviri
3	Ayaviri– Chuquibambilla	35	30	Asfaltada	Ayaviri – Chuquibambilla
4	Chuquibambilla - Pallpata	85	90	Afirmado	Chuquibambilla – Pallpata
5	Pallpata-Laguna Palccaccota	30	25	trocha	Pallpata- Laguna Palccaccota
TOTAL		249	250		

Cuadro 3.2. Por la ciudad del Cusco (Elaboración propia).

N°	TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VIA	VIA PRINCIPAL
		(Km.)	(Min.)		
1	Cusco - Sicuani	138.73	84	Asfaltada	Cusco - Puno
2	Sicuani – Espinar (Yauri)	98	65	Asfaltada	Sicuani - Espinar
3	Yauri - Pallpata	40	25	Carretera Afirmada	Yauri - PALLPATA
4	Pallpata-Ajoyani	30	25	trocha	Pallpata-Ajoyani
TOTAL		306.73	199		

3.3. CLIMA FLORA Y FAUNA

3.3.1. CLIMA

La configuración del espacio geográfico condiciona el comportamiento climático del área de estudio con diferentes eventos climáticos que son:

3.3.2. LLUVIAS

La estación de mayor frecuencia e intensidad de lluvias son los meses de enero a abril; la precipitación anual media es de 75.92mm.

3.3.3. TEMERATURA

Constituye uno de los elementos fundamentales que condicionan el comportamiento del clima, siendo variada e irregular debido a diversos factores, como la ubicación geográfica, altitud, nubosidad, entre otros. La temperatura en las madrugadas llegan a temperaturas bajo 0°C en día varían entre 7.88°C - 15°C . En meses de abril, setiembre.

3.3.4. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Varía constantemente, debido a que se encuentra compuesta de diversos elementos (gases, vapor de agua), que condicionan el comportamiento del clima.

Se sugiere utilizar el siguiente valor práctico representativo de la presión Atmosférica en la ciudad del Cusco expresado en distintas unidades equivalentes. 0,72 atm La presión atmosférica en la Ciudad del Cusco en la provincia de espinar y en el distrito de Pallpata equivale al 70% de la presión a nivel del mar.

De la misma forma que se muestra en el desarrollo, se pueden obtener las Presiones atmosféricas de distintos lugares donde haya un registro del clima.

3.3.5. HELADAS

Las heladas se presentan antes de la estación de invierno (mayo, junio). Así mismo, hacen su presencia después del invierno o sea en la estación de primavera (setiembre). En el ámbito de estudio las heladas resultan más intensas sobre todo en los meses de junio, julio y agosto.

3.3.6. VEGETACION

Se tiene una variedad de recursos forestales, los más resaltantes en la microcuenca son: ichu, pastos, Iru ichu y chillihua.

3.3.7. FAUNA

Encontramos animales como llamas, alpacas, ovinos, y aves pequeños como Huallatas, perdiz, etc.

3.4. FISIOGRAFIA

3.4.1. FISIOGRAFIA REGIONAL

El relieve fisiográfico del área de estudio en general corresponde a la Sierra SE del país, representada por la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, región donde se ubican en la tundra pluvial Alpina subtropical y paramo muy húmedo Subtropical y que desde luego muestran contrastes altimétricos y climáticos. Las unidades fisiográficas más resaltantes son:

La Provincia de Espinar es dominado por valles profundos, en su parte Norte; vale decir fundamentalmente concentrados en las vertientes de los ríos Salado y Apurímac, también se hallan dentro de esta clasificación las partes altas de cadena de montañas que rodea la zona, estas delimitan las cuencas internas del área, estos en conjunto tienen una pendiente “Empinada a muy Empinada” en una superficie del 55 % de la Provincia, por lo que constituye una zona en proceso de erosión. El restante 45 % son superficies “poco inclinadas a planas” que forman las altiplanicies del sector Espinar y Coporaque, Pallpata fundamentalmente, estos representan las mejores superficies utilizables para la ganadería, que sustenta la actividad económica de la zona.

3.4.2. FISIOGRAFIA LOCAL

El relieve fisiográfico del área del Proyecto “Sistema de Riego Palccaccota” está conformado por valles de características aluviales a fluviales (depresiones formadas por efectos de los cursos de agua), colinas, laderas, bofedales, terrazas aluviales y llanuras aluviales son las zonas planas que van en contraste con el resto del relieve regional de la zona.

3.4.3. LAGUNA PALCACCOTA

La laguna Palcaccota por su ubicación y formación morfológica que presenta las condiciones adecuadas para el almacenamiento de agua en mayor cantidad de volúmenes, siendo así el área natural o volumen ecológico que almacena con una extensión de 5.9 hás y teniendo una capacidad extensible de vaso hasta de 43 hás.

3.5. HIDROLOGIA

El modelo de la circulación o escorrentía superficial está condicionada estrictamente por la intensidad de precipitación, tiempo de duración de la precipitación, tipo de vegetación, extensión del área hidrográfica, pendiente de la superficie del terreno (en zonas altas y medias el drenaje superficial es rápido y en zonas bajas es lento) e infiltración, el tiempo de concentración de aguas pluviales. Debido a estos factores los caudales varían según la estación de precipitación pluvial, y se distribuye uniformemente por toda la superficie de la zona de estudio, siendo los valores de caudal máximo registrados durante los meses de febrero-marzo en la parte de la captación.

El agua producto de la precipitación pluvial, una parte discurre como escorrentía superficial y la otra se infiltra por gravedad hacia el subsuelo así alimentado a la laguna Palcaccota. Esta infiltración está condicionada por la cantidad de precipitación, pendiente del suelo y tipo de suelo o roca. Es mayor en los suelos porosos como gravas limosas, gravas arenosas, limos arenosos, etc., como también en las rocas sedimentarias fracturadas y alteradas como los tufos volcánicos. En las rocas sedimentarias de la zona se presenta mayor infiltración en las areniscas las cuales están bien meteorizadas en algunas zonas debido a la mayor porosidad de sus sedimentos arenosos.

3.5.1. AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se define como el agua que se encuentra por debajo de la superficie o subsuelo, circulan en buen porcentaje por las condiciones estratigráficas favorables de rocas y suelos, que presentan inclinaciones variables.

Fundamentalmente durante las estaciones secas. En las estaciones de lluvias las aguas subterráneas emergen parcialmente debido a la sobresaturación de los acuíferos formando manantiales, zonas pantanosas o bofedales. También existen lagunas de infiltración que alimentan a la laguna Palccaccota.

3.5.2. APOORTE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Esta cuenca tiene como drenaje principal pequeños riachuelos, cuyas nacientes se encuentran sobre los 4000 a 4200 m.s.n.m. por ende no tiene afluentes permanentes como ríos principales. Capta las aguas escurridas de la cuenca a lo largo de muy cercanas de recorrido desde sus nacientes hasta su desembocadura en la laguna Palccaccota.

El mencionado riachuelo descarga muy poco solo en épocas avenida, del volumen total anual producido por la cuenca en la época de avenidas (Enero a Marzo) y en estiaje (Julio a setiembre permanece dicha laguna con una profundidad de 4.50 metros). En general, por su superficie plana esta cuenca presenta una baja densidad de drenaje siendo el escurrimiento de tipo laminar.

El aporte de las aguas subterráneas a la laguna Palccaccota es considerable de acuerdo al diagrama: Las aguas subterráneas representan una fracción importante de la masa de agua que aporta a la laguna esto generalmente en temporadas de precipitación pluvial, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en los lagos aledaños a la zona de estudio o circundante. El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie y se acumula en el interior de la tierra formando acuíferos. Como es bien sabido, en los lugares alejados de ríos, lagos, estos acuíferos son a menudo la única fuente de agua disponible para el aporte a la laguna Palccaccota.

Estas aguas subterráneas tienen una gran importancia en el mantenimiento del equilibrio de esta laguna. Son elementos fundamentales en los aportes hídricos a los humedales. La cual mantiene la vivencia de la flora y fauna en el lugar.

La laguna afluyente es una laguna aledaña que da un gran aporte a la laguna Palccaccota esos aportes se dan básicamente superficial y subterráneamente por los puntos 1 y 2 cada uno aportan aproximadamente $2.25\text{m}^3/\text{s}$, en punto 3 el punto de captación la cual es derivado por un canal trapezoidal para el llenado de agua en el embalse la cual dota un caudal de $15.26\text{m}^3/\text{s}$.

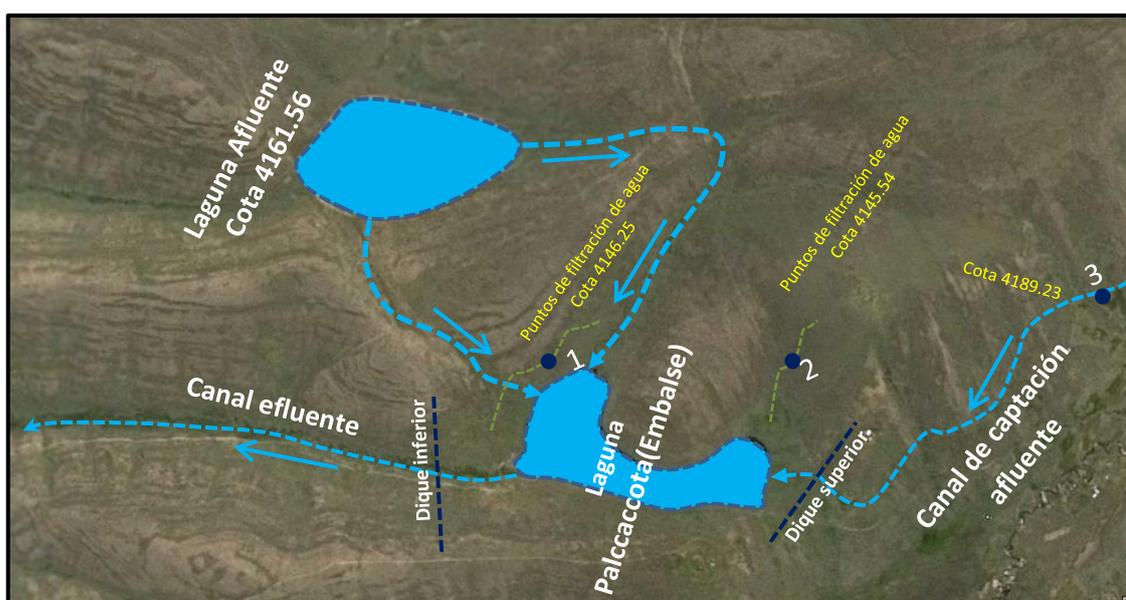


Figura 3.3. Esquema de aportes de agua a la laguna Palccaccota.

3.6. GEOLOGIA REGIONAL

La geología Regional es muy variada la zona de investigación está en el cuadrángulo 30-t, publicado por el INGEMMET en el cual se tiene secuencias que van desde el Cenozoico hasta materiales cuaternarios.

La cartografía geológica elaborada por el INGEMMET y publicada en el Boletín N° 58: “Geología de los Cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro” – 1995, a escala 1:100,000, describe las formaciones geológicas que a nivel regional se emplazan en el área circundante al área de investigación. También en área regional hay presencia de del grupo Puno (P-pu), emplazamientos del grupo Mitu (Ps-mi).

3.6.1 GRUPO MITU (Ps-mi)

Considerados sedimentos continentales con muy marcadas variaciones laterales de litología, cuya composición se encuentra conformada por aglomerados, areniscas y limo arcillitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclastos de color verde violáceo, cuyos espesores varían rápidamente de un lugar a otro. De acuerdo a la evidencia paleontológica encontrada, se considera que este grupo aconteció en el Paleozoico superior.

3.6.2. FORMACION SENCCA (Np-Vs)

Esta unidad estratigráficamente, tiene constante distribución en toda la Cordillera del Sur del Perú; y sus relaciones estratigráficas la cual se emplea este término para la secuencia tobácea del Cuadrángulo, por lo general, se encuentra subhorizontal. La formación Sencca yace directamente en discordancia angular, sobre el Grupo Tacaza y subyace a las lavas del Grupo Barroso. Esta unidad aflora, en forma irregular, por toda el área, pero las más grandes y mejores exposiciones se encuentran en los sectores periféricos del área de estudio, Litológicamente está constituida por tobas dacíticas a riolíticas, color crema a rosado, de tipo efusivo y/o explosivo.

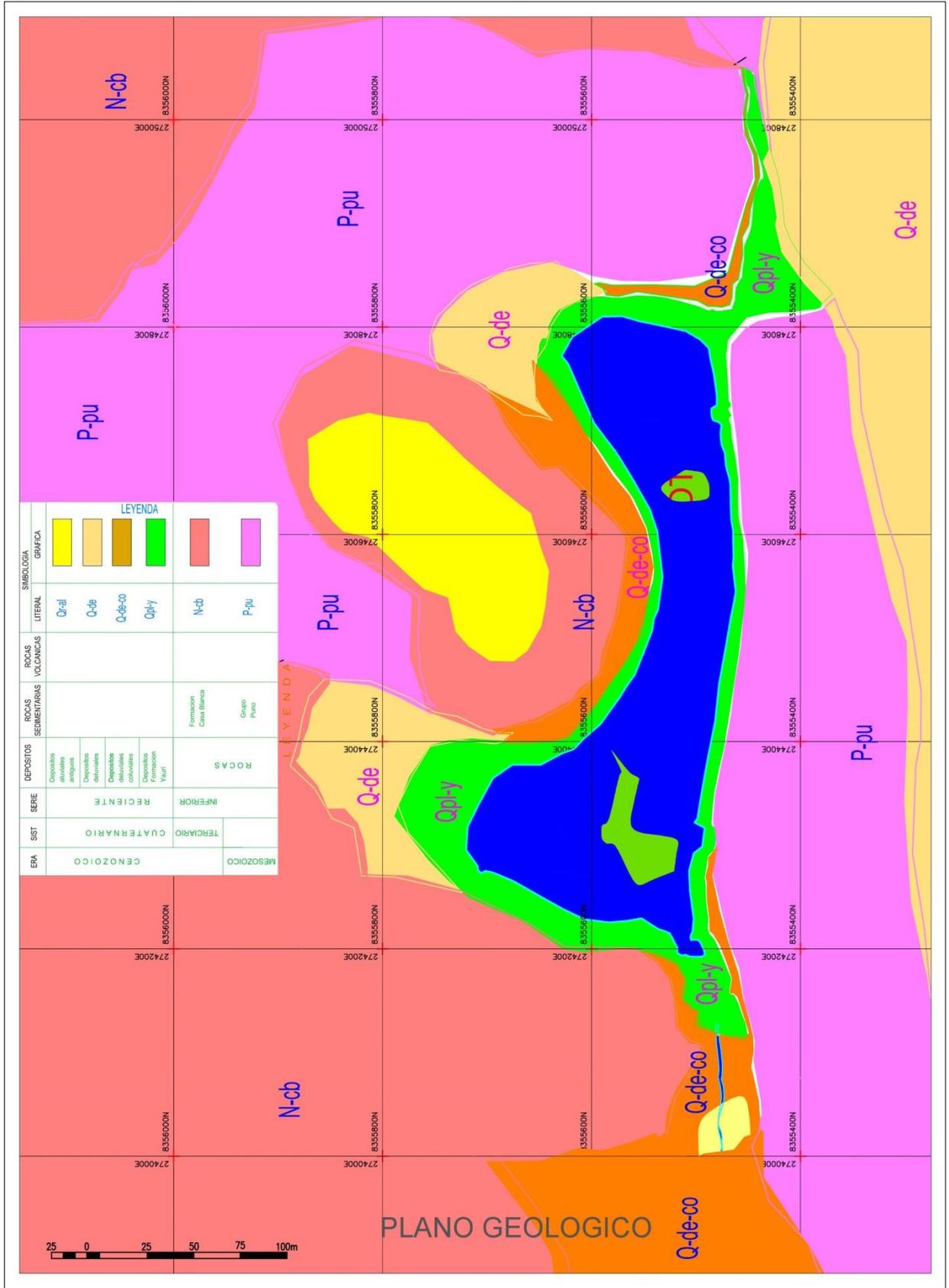


Figura 3.6. Plano geológico local de la Laguna Palccaccota.

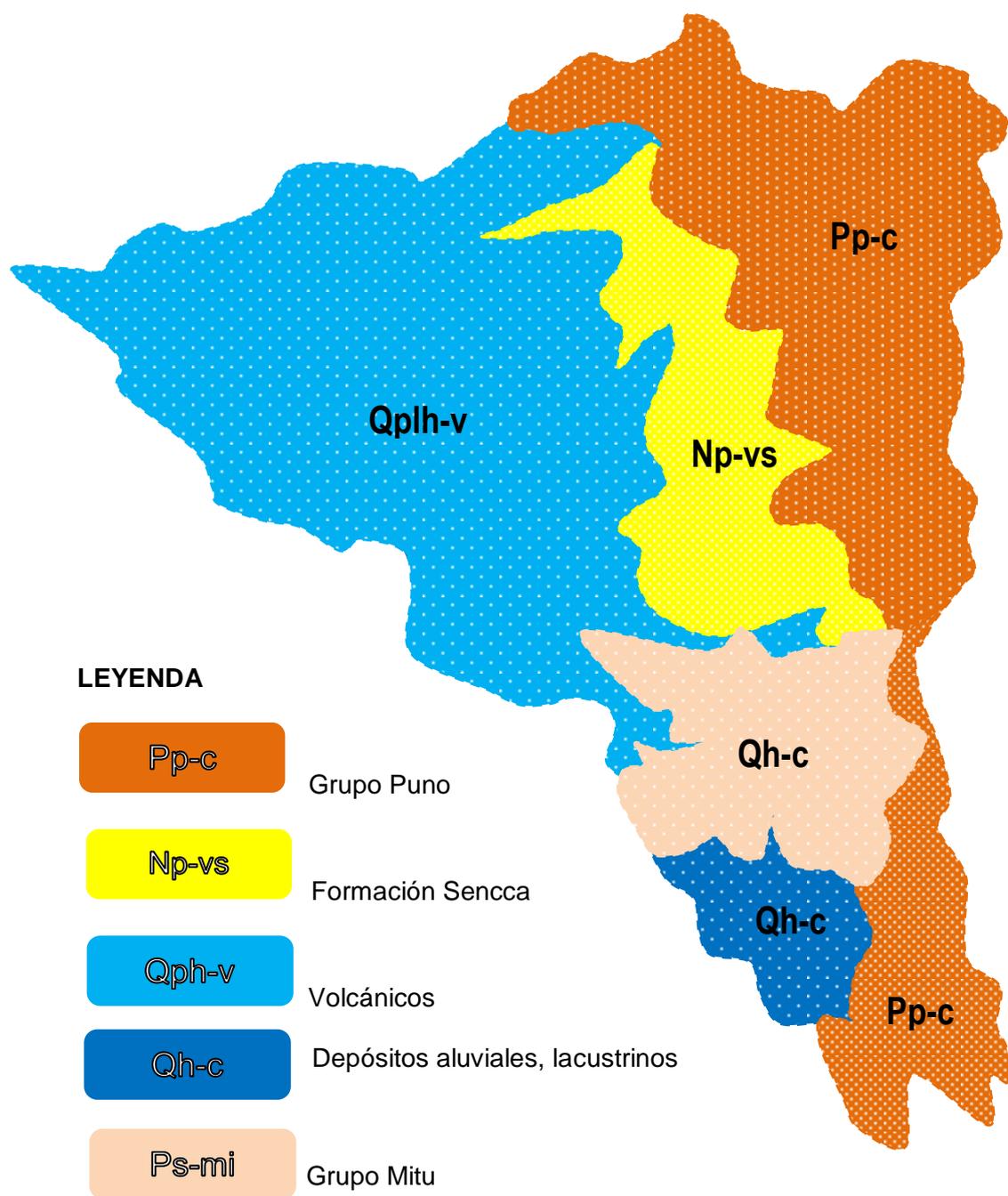


Figura 3.7. Mapa geológico regional de Pallpata (INGEMMET-1999).

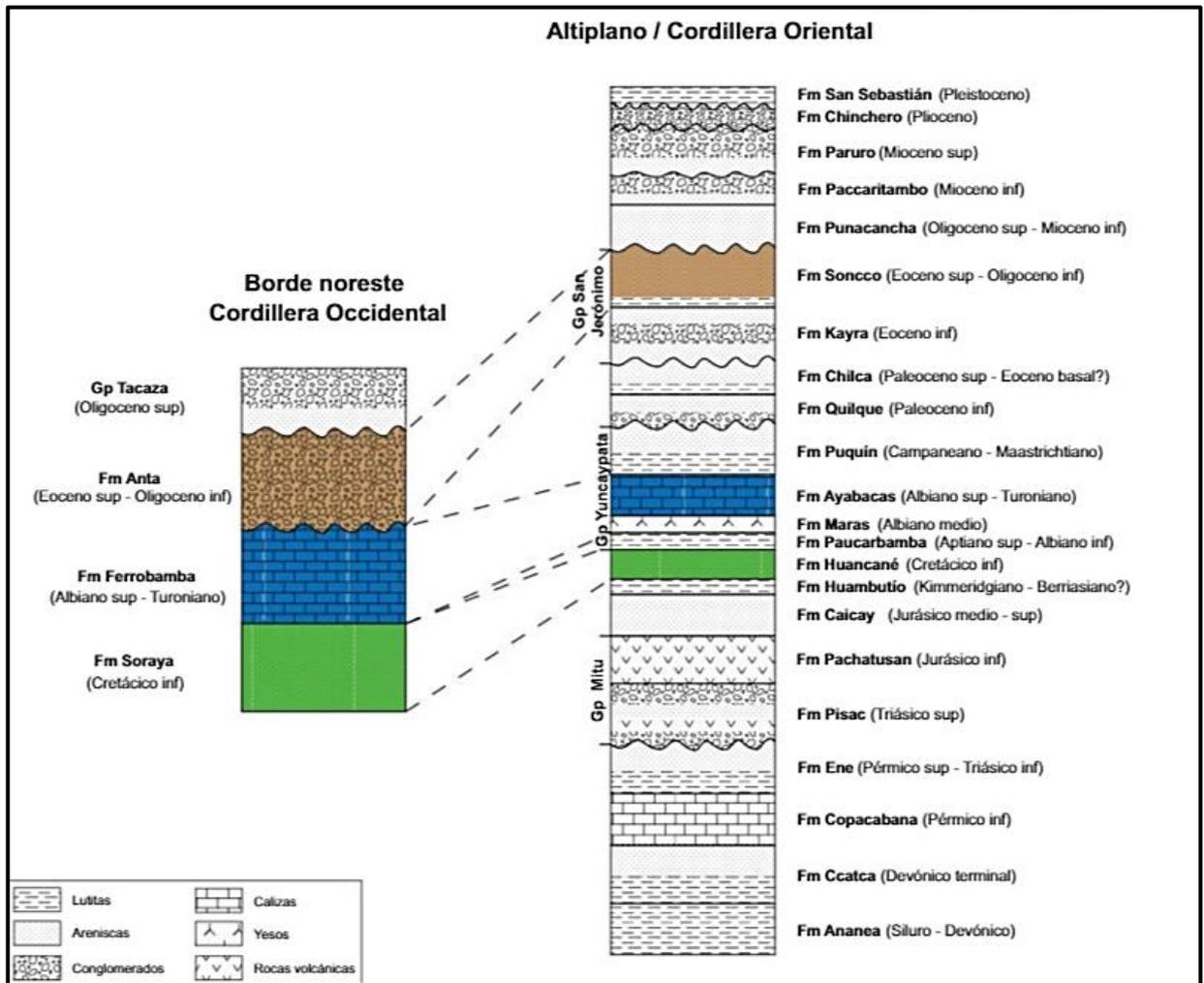


Figura 3.8. Estratigrafía de las unidades morfo estructurales regionales cuadrángulo de cusco (Boletín N° 128).

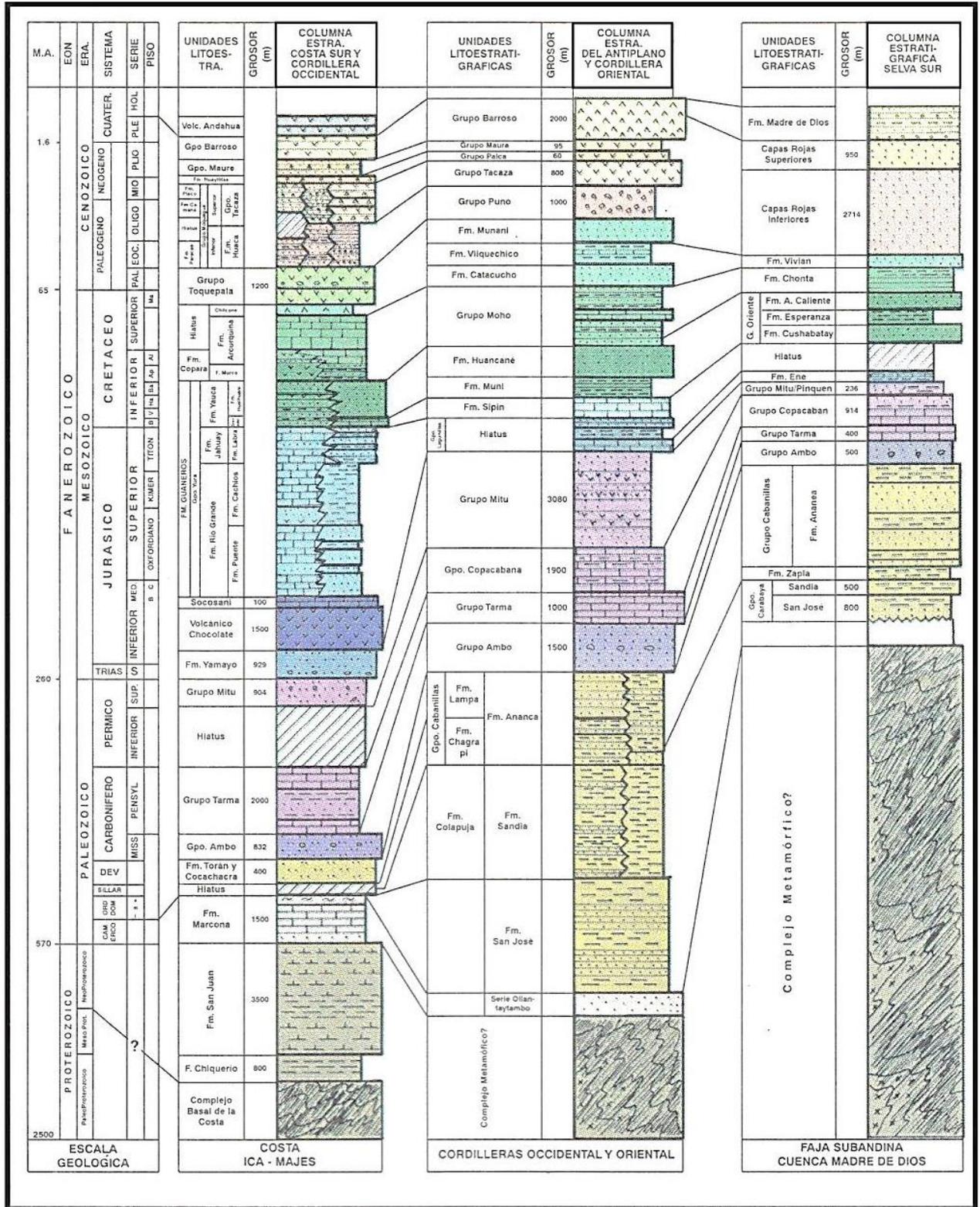


Figura 3.9. Columna estratigráfica generalizada del sur del Perú correlacionada transversalmente a los andes (INGEMMET-Boletín 55).

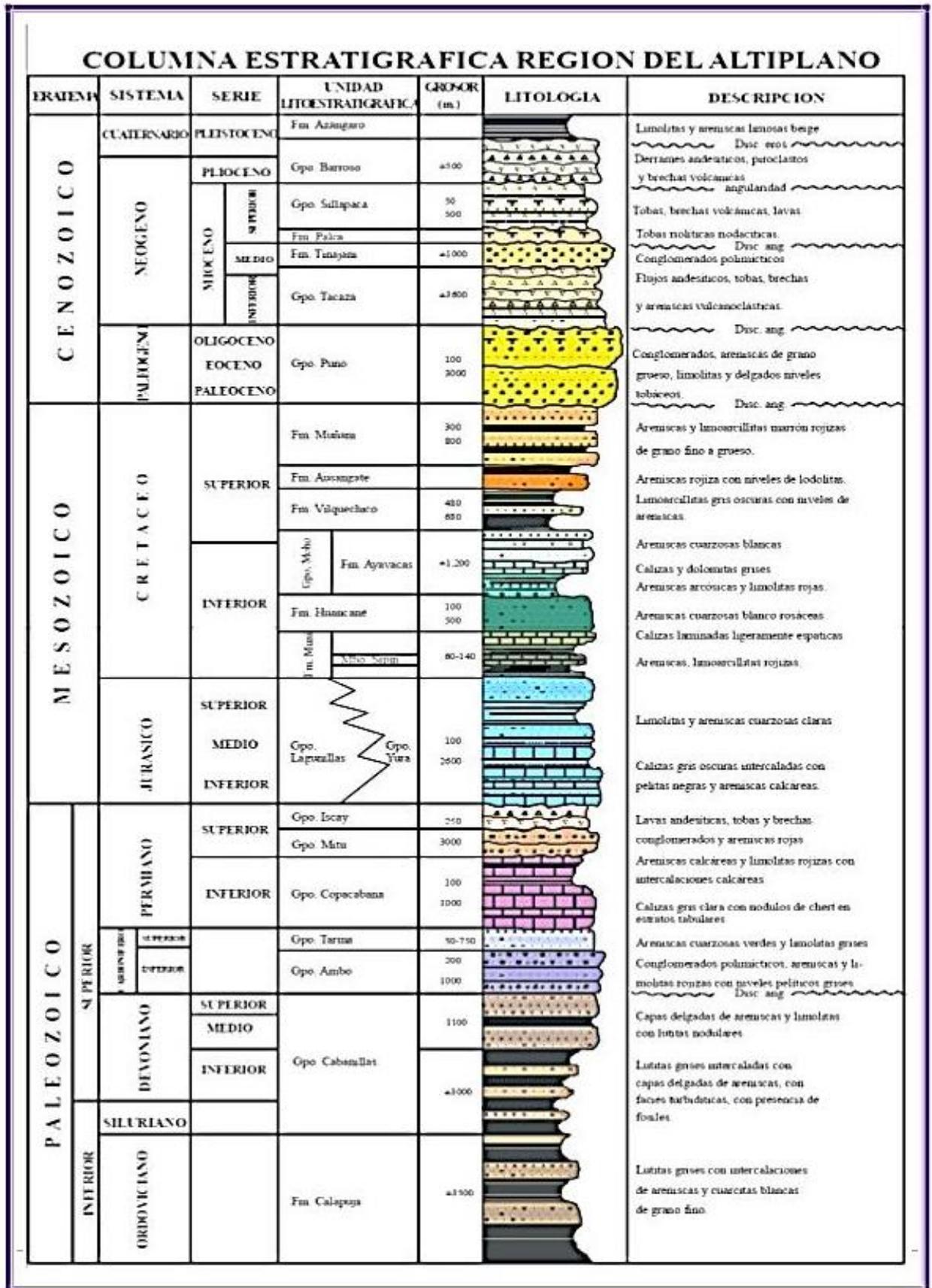


Figura 3.10. Columna estratigráfica regional.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		ROCAS ÍGNEAS	
			CUENCA OCCIDENTAL	CUENCA DE PUTINA	PLUTÓNICAS	VOLCÁNICAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. Aluviales	Q-al		
			Dep. Glaciofluviales	Qpl-gfl		
		PLEISTOCENA	Dep. Morrénicos	Qpl-mo		
			Fm. Yauri	Qpl-y		
			Fm. Garza	Qpl-g		Shoshonita Qpl-ch
	NEÓGENO	PLIOCENA	Fm. Casanuma	N-ca		
			Gpo. Barroso			
			Fm. Huaycha	N-hu		
		Fm. Casa Blanca	N-cb			
		MIOCENA	Gpo. Tacaza			
Fm. Ichocollo	N-ich					
PALEÓGENO	EOCENA PALEOCENA	Gpo. Orcopampa	N-or			
		Gpo. Puno	P-pu		Monzonita P-mz Granito Porfírico P-grp Diorita/Granodiorita Kp-d/gd	
MESOZOICA	CRETÁCEO	INFERIOR	Fm. Arcuquina-Muni	Ki-ar	Ki-mu	
			Fm. Huallhuani	Ki-hu		
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR	Gpo. Mitu	Pe-mi		

Figura 3.13. Leyenda de la delimitación de la zona de estudio (INGEMMET-1999).

3.7. GEOLOGIA LOCAL

En estudio se ha identificado grupos y formaciones de antigüedad desde cuyos rangos en edad van desde el Cenozoico hasta reciente. Su distribución está controlada por una serie de bloques delimitados por fracturas, las rocas más antiguas, las características de las rocas areniscas arcósicas superficialmente cubierto de vegetación.

La secuencia de estas rocas está ubicado en las inmediaciones de Laguna Palccaccota, la secuencia de los materiales cubierto superficialmente material orgánicos de los arbustos de la zona posteriormente material arenas arcillosas y limosas con intercalaciones de material granular o clastos de roca.

Presenta aspectos generales los cuales dan a conocer aspectos importantes del área de estudio del proyecto de investigación.

La geología local es muy variada en la zona sobre todo hay presencia de rocas sedimentarias en el margen izquierdo de la Laguna como son las areniscas cuarcíticas pertenecientes al grupo Puno con alto contenido de cuarzo las cuales subyacen a la laguna Palccaccota pero algo superficialmente, También hay gran presencia de material cuaternario y depósitos aluviales sobre todo en el en la laguna Palccaccota (INGEMMET, 1999).

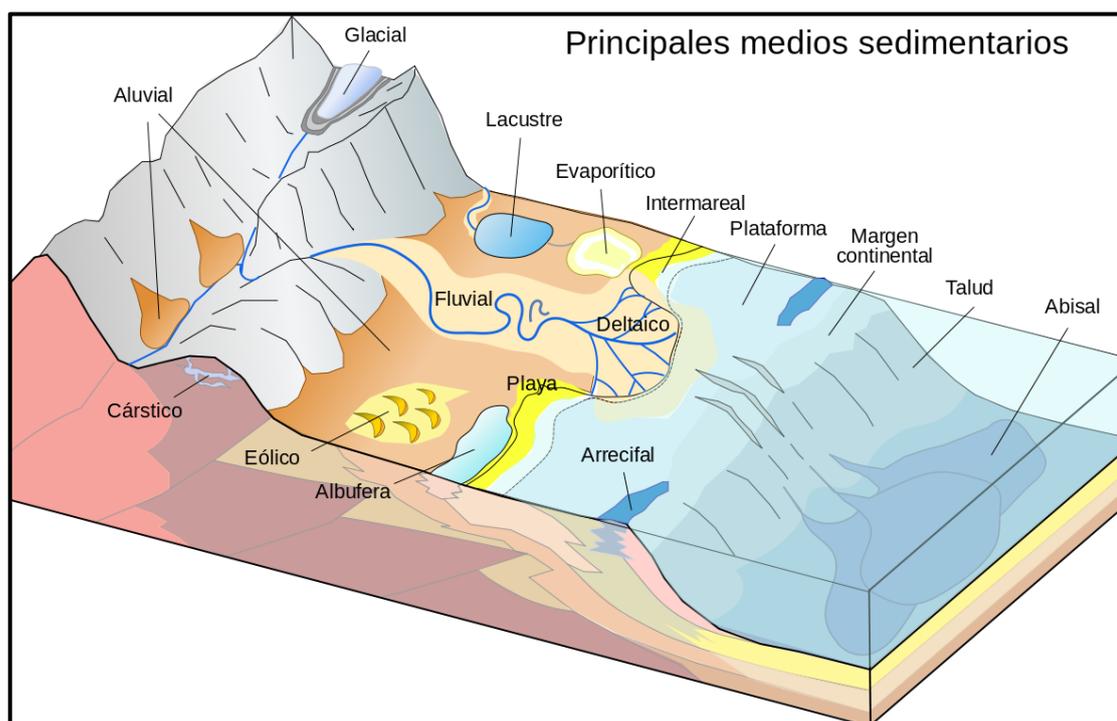


Figura 3.14. (Qpl-Glf), Depósitos con acumulaciones de gravas en matriz de arenas cubiertas de coloración blanquecina.

3.7.1. DEPÓSITOS DE MATERIAL SUELTO (Qpl-Glf y Qr-al)

Se consideran a las acumulaciones de material poco consolidado a manera de amplias terrazas que se extienden a ambos lados del canal de riego proyectado y algo en la misma laguna Palccaccota.

Dentro de estos depósitos, también se consideran a las importantes acumulaciones de gravas en matriz de arenas cubiertas de coloración blanquecina en forma de tufos o tobas volcánicas que ocupan los cauces del río Ccayramayo.



Figura 3.15. (Qpl-Glf), Depósitos con acumulaciones de gravas en matriz de arenas cubiertas de coloración blanquecina

3.7.2. DEPOSITOS RECIENTES(Q-al)

Son depósitos por efectos de derrumbes, deslaves de las laderas, se ubican en las faldas de las formaciones de montaña y colinas, presentan espesores que en la parte inferior llega a espesores considerables, están conformados por una diversidad de minerales meteorizados de las formaciones existentes en la zona y también se presenta fragmentos anguloso a subangulosas en las partes bajas, constituidos por materiales poco consolidados de distribución irregular con intercalaciones de gravas, arenas, arcilla y limos.

Su extensión es muy a lo largo de la zona de estudio e importante debido a que esta cobertura determina el grado de meteorización de cada unidad litoestratigráfica ya expuesta.



Figura 3.16. (Q-al), Depósitos aluviales recientes.

3.7.3. DEPÓSITOS ALUVIALES

Son los materiales transportados por efecto de las aguas superficiales de las riberas y quebradas que en la actualidad siguen su proceso erosivo, se encuentran a lo largo del cauce de los ríos y de las zonas de pendiente casi neutra donde el agua formó lagunas antiguas en donde se sedimentó gran cantidad de masa, formando terrazas, con depósitos de fragmentos anguloso, subangulos y subredondos con clastos de rocas sedimentarias y algunas intercalaciones de tufos volcánicos y gran cantidad de material cuaternario.

3.7.4. FORMACION CASA BLANCA(N-cb)

Con esta denominación se conoce a una secuencia estratigráfica constituida por conglomerados lacustrinos, de litología monótona, con contenido de tobas arcillosas, de coloración marrón rojiza, que se ubica mayormente en el norte del cuadrángulo de Yauri, donde también intercalan con limo arcillitas y, en algunos casos, con clastos volcánicos.

La edad asignada a esta formación Casa Blanca, es del Cenozoico. Las rocas de esta formación geológica, muestran importante emplazamiento a lo largo de la carretera Espinar.

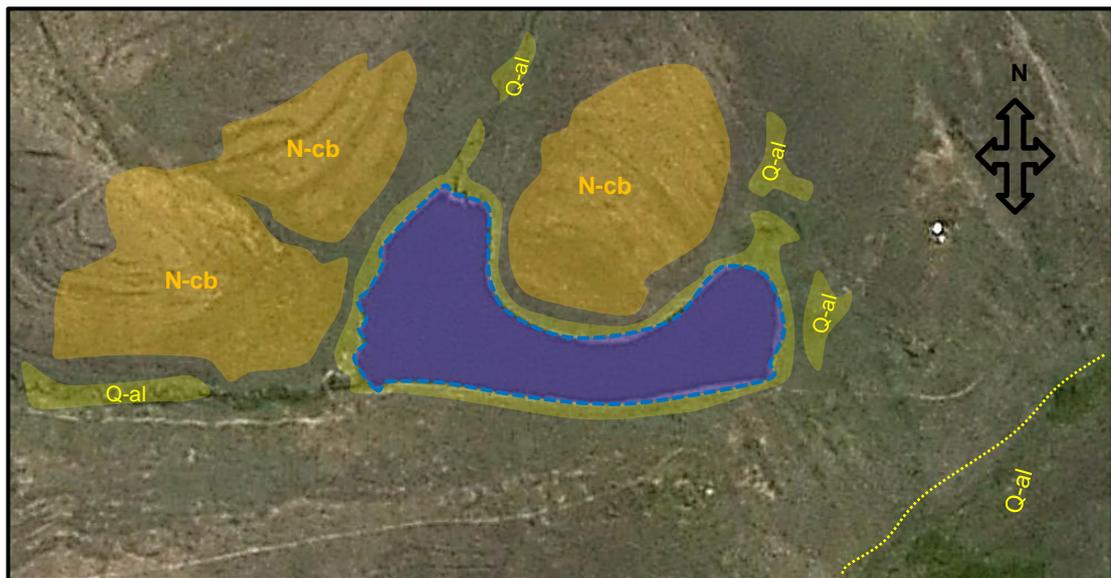


Figura 3.17. (N-cb), afloramientos de la formación casa blanca.

3.7.5. FORMACION YAURI (Qpl-y)

Con esta denominación se conoce a sedimentos lacustrinos que están constituidos por tobas areniscas y conglomerados lenticulares fluviales. Generalmente, las tobas son de color gris blanquecino y se han depositado en capas delgadas; encontrándose cubriendo a los conglomerados de la formación Casa Blanca.

La edad geológica asignada a esta formación, es el Pleistoceno-Cuaternario.

Esta formación se emplaza a lo largo de la zona de estudio y el eje del canal de riego proyectado.

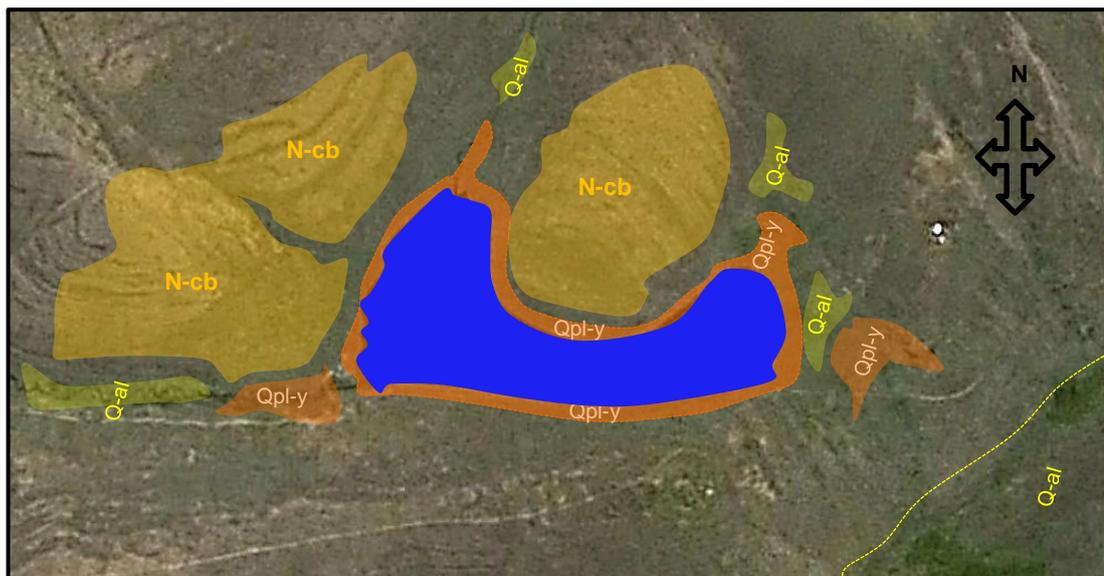


Figura 3.18. (N-cb), (Qpl-y), (Q-al) afloramientos de geología local.

3.7.6. GRUPO PUNO (P-pu)

Las rocas de coloración rojiza se les conocen a una secuencia de areniscas rojizas rosadas y conglomerados. Las areniscas son de grano fino a grueso generalmente arcósicas (granos de arenas con predominio de cuarzo); los constituyentes feldespáticos casi siempre están alterados y tienen coloración clara. Los estratos conglomerádicos son masivos y menores a los 2 m. de espesor.

Estos estratos gruesos de areniscas están intercalados con limo arcillitas en estratos delgados y de color rojizo oscuro a marrón.

A este grupo se le asigna una edad Paleógeno, del Cenozoico. En el área de interés, estas rocas se emplazan al final de la zona de estudio, en las inmediaciones alto Pallpata, con afloramientos que tienen una definida dirección SW-NE, también afloran en algunas rocas erosionadas en la misma laguna Palccaccota.

También se emplazan a lo largo del eje del canal por donde se plantara la tubería con fines de riego para toda la zona de estudio es algo superficial.

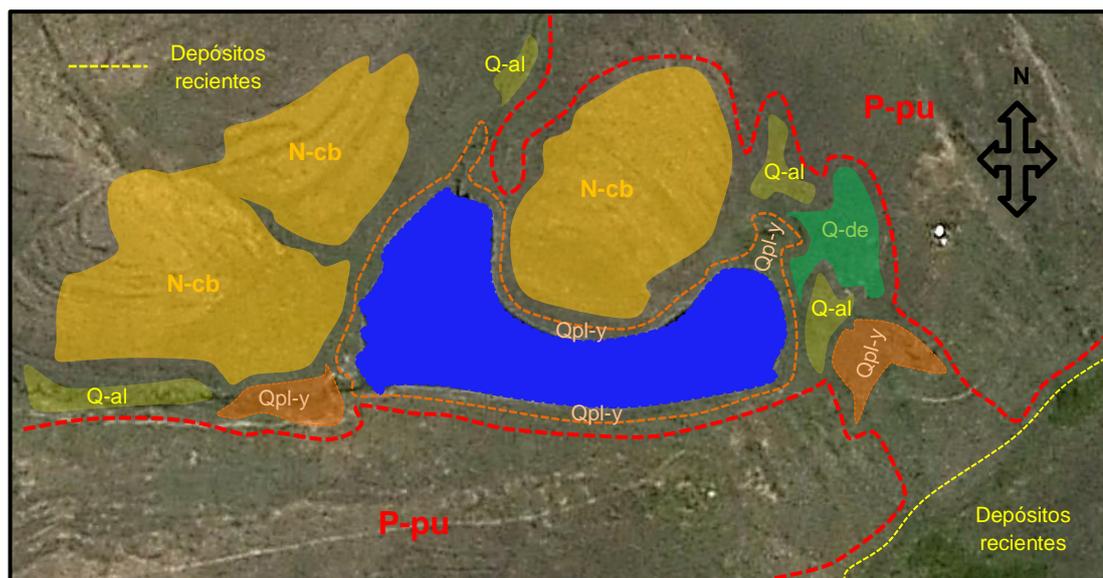


Figura 3.19. (N-cb), (Qpl-y), (Q-al) y (P-pu), afloramientos de geología local.

3.7.7. GEOLOGIA DE LA LAGUNA PALCCACCOTA

Los materiales constituyentes recientes cuaternarios conformados de arenas limosas y arcillas superficialmente cubierto de material orgánico con intercalaciones de materiales granulares.

El suelo de la laguna Palccaccota se encuentra sometido a un proceso de hundimiento paulatino que es imperceptible en periodos de tiempo cortos. Los hundimientos provocan agrietamientos que se concentran particularmente en algunos sectores de la laguna Palccaccota esto genera algunas presencia de aguas subterráneas las cuales fluyen por los agrietamientos subterráneos formando lagunas.

Estos son el resultado de algunos eventos de falla que se han ocasionado en tiempos geológicos también del suelo ocasionado por los esfuerzos que se ejercen en la masa de suelo por efecto de hundimientos diferenciales. Los hundimientos diferenciales han sido inducidos y continúan siendo una consecuencia de un proceso de compactación diferencial producido por el descenso desigual del nivel piezométrico del acuífero por causa de irregularidades pre existentes en el subsuelo, tales como fallas geológicas.

La zona de estudio en cuanto a la geología presenta una geología con presencia de materiales cuaternarios y superficie cubierta de vegetación. Gran presencia de rocas altamente meteorizados en el margen Derecho de la laguna Palccaccota la cual es ocasionado por la erosión constante.

a) DEPOSITOS ALUVIALES

Los depósitos fluviales están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos y los procesos de deslizamiento por gravedad asociados. Aunque estos depósitos se están generando actualmente bajo una diversidad de condiciones climáticas, desde desérticas hasta glaciales, se reconocen cuatro sistemas fluviales bien definidos: sistema de abanicos aluviales, sistema de pequeños riachuelos, sistema de drenaje meándricos Además de su papel como receptores de información geológica valiosa, los depósitos fluviales también son importantes en el aspecto económico, ya que son, desde proveedores de material para la construcción, hasta contenedores de yacimientos minerales y de agua subterránea. Por todo lo que éstos representan, los sistemas fluviales han sido ampliamente estudiados.

Son materiales recientes que se han formado por la acumulación de materiales que se han producido por la meteorización de los depósitos aluviales y materiales que se han formado por las diferentes acumulaciones de materiales orgánicos y depositados en las cuencas en este caso en la laguna Palccaccota.

b) MATERIALES CUATERNARIOS

El Cuaternario está basado desde hace más de 100 años ha tenido un rango privilegiado entre las unidades crono estratigráficas, mirando en pie de igualdad al Paleozoico, el Mesozoico y el Cenozoico a pesar de aquéllos se definen por las grandes diferencias en los seres que los habitaron lo que permite separarlos muy claramente. Esto no ocurre entre el Cenozoico y el Cuaternario, salvo por un detalle: la aparición de

los primeros homínidos en el registro fósil. Sin embargo, hace tiempo que corre el peligro de ser defenestrado de su posición de privilegio y convertirse en un periodo, el último, de la era Cenozoica. El caso es que de momento resiste, tal vez ayudado por el hecho que, a fin de cuentas, la decisión está en manos de homínidos.

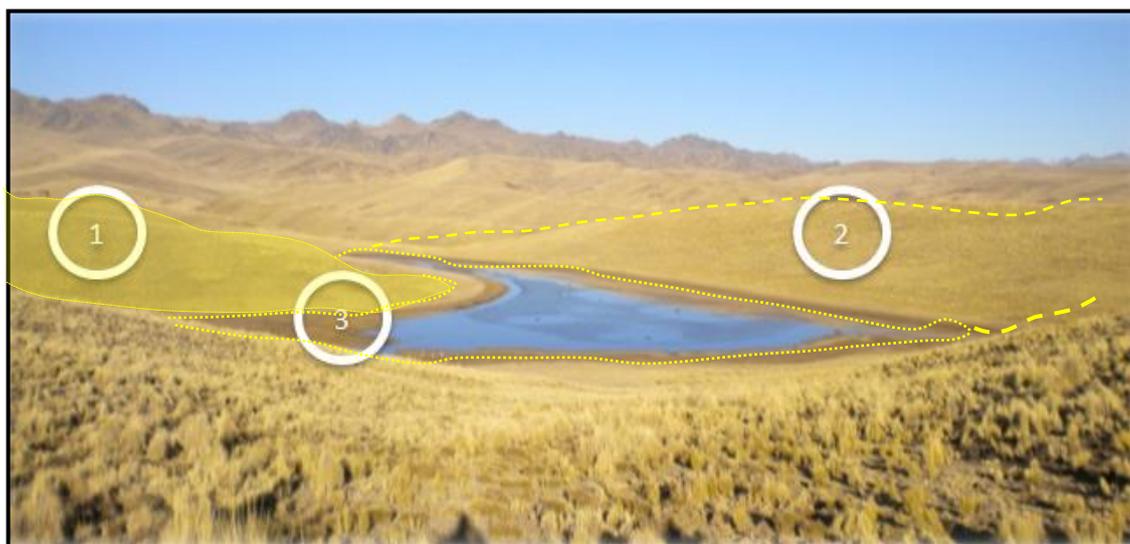


Figura 3.20. Los Afloramiento se describen como sigue (1) presencia de rocas sedimentarias areniscas arcósicas y cuarcíticas (2) taludes cubiertas de vegetación (3) Material orgánico Pt.

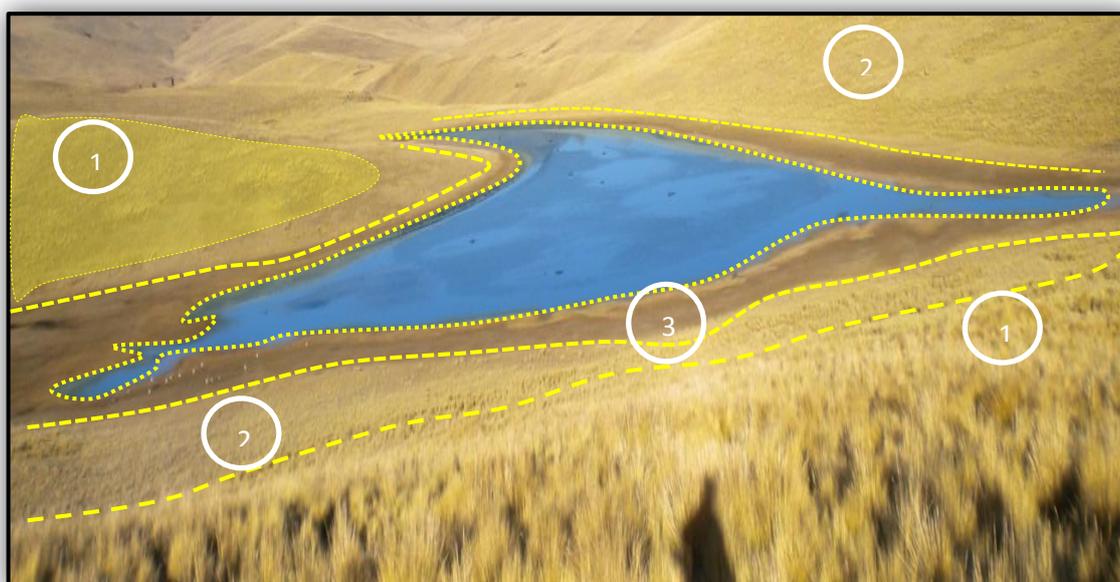


Figura 3.21. Los Afloramiento se describen como sigue (1) presencia de rocas sedimentarias areniscas arcósicas y cuarcíticas (2) taludes cubiertas de vegetación (3) Material orgánico Pt en todo el perímetro de la laguna.

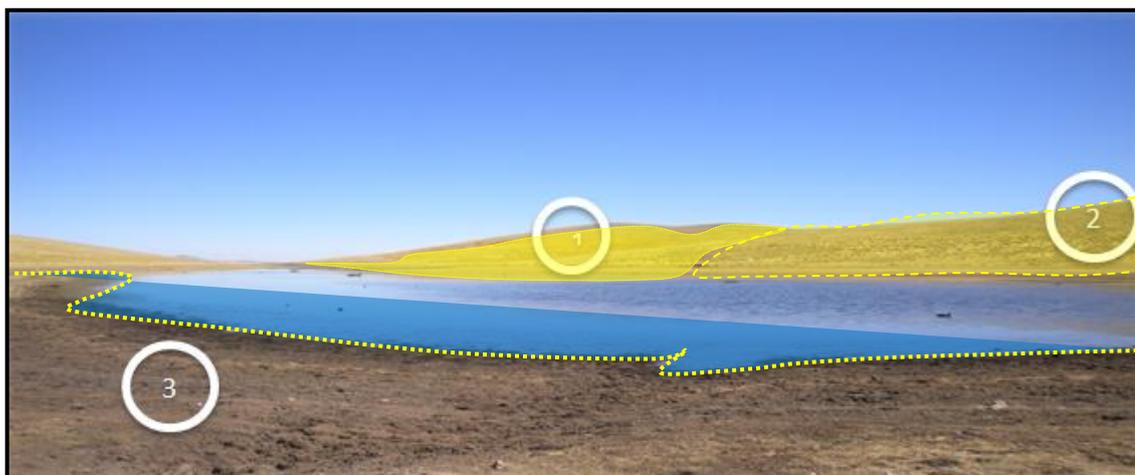


Figura 3.22. Esquema de Afloramientos en la Laguna, Vista del Dique Superior de la Represa (1) presencia de rocas sedimentarias areniscas arcósicas y cuarcíticas cubiertas con vegetación (2) Posible Cantera para la conformación de los diques alto contenido de sílice (3) Material orgánico Pt.



Figura 3.23. Roca sedimentaria clástica de grano fino en el C° Palccaccota.

3.8. GEOMORFOLOGIA

La geomorfología es la rama de la geografía física que estudia de manera descriptiva y explicativa el relieve de la Tierra, el cual es el resultado de un balance dinámico - que evoluciona en el tiempo - entre procesos constructivos y destructivos, dinámica que se conoce de manera genérica como ciclo geomorfológico.

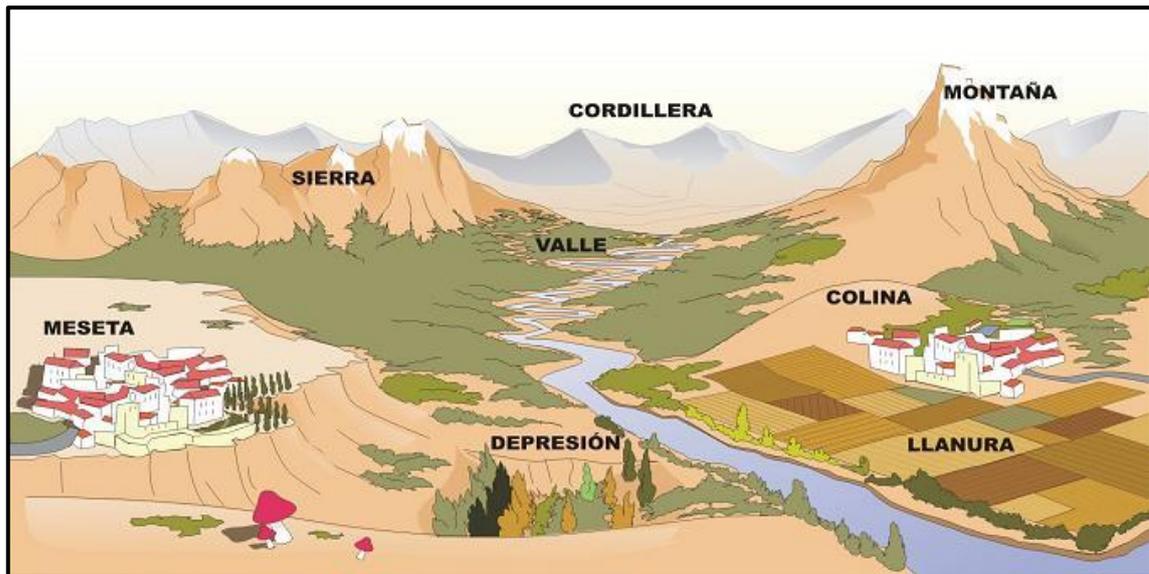


Figura 3.24. Geomorfología de la zona sierra del Perú (Internet, <https://www.google.com/search?biw>)

La geomorfología de la zona, teniendo en cuenta los factores que dieron origen y modelaron las geoformas actuales. Este estudio es importante debido a la utilidad que posee cada unidad geomorfológica. El análisis de condicionantes se hizo de acuerdo a la revisión de proyectos realizados en las zonas aledañas y mediante inspección visual de la zona de estudio.

La geomorfología de la zona de investigación es bastante moderada, presencia de quebradas con pendientes relativamente suaves se ha realizado el análisis descriptivo de las formas del relieve, así como la evolución del modelado de la superficie por la morfoestructura, morfogénesis, acciones combinadas del vulcanismo, intemperismo, erosión y la sedimentación que forman las depresiones y salientes en el área de estudio.

También esta caracterizada por tener terrazas aluviales, laderas, colinas y quebradas, que varían de suaves a empinadas y de llanas a onduladas. La característica geomorfológica está determinada por la presencia de colinas altas y estribaciones montañosas, alternadas en determinadas zonas con sectores de depresión de poca pendiente, encontrándose en su vasta geografía colinas y estribaciones. El relieve es típico de la zona sierra en la comunidad de Pallpata sobre todo en la parte alta, presentándose lomadas, donde se desarrolla la actividad pecuaria.

Se presentan diversas unidades geomorfológicas tales como colinas altas, colinas medias, colinas bajas, terrazas volcánico-estructurales, escarpas, laderas altas, laderas bajas, valles juveniles, maduros, terrazas aluviales, llanura aluvial y bofedales, etc.

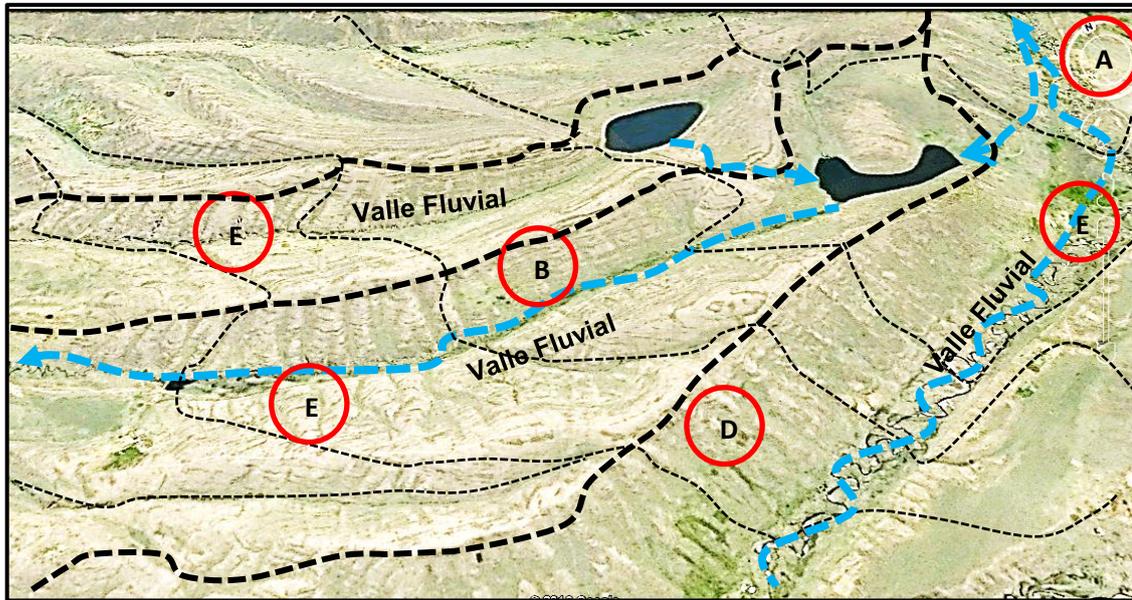


Figura 3.25. Geomorfología de la zona de estudio.

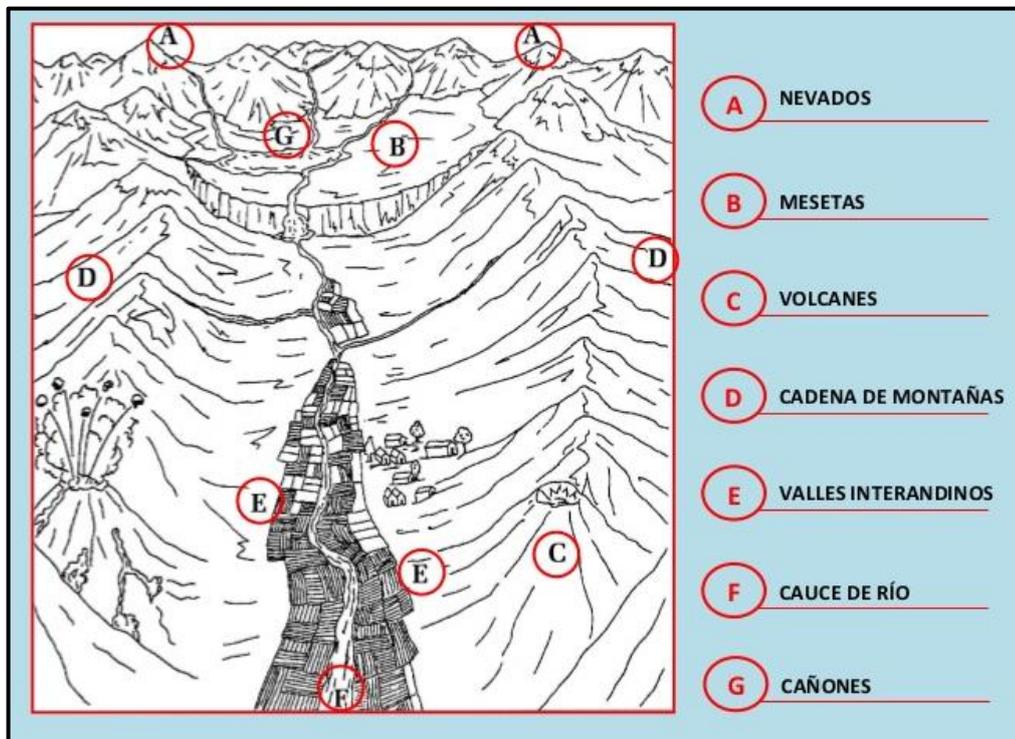


Figura 3.26. Geomorfología de la zona sierra del Perú (Internet, <https://www.google.com/search?biw>)

3.8.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS DE LA LAGUNA PALCCACCOTA

A nivel Local la geomorfología es variada como se detalla se han reconocido tres unidades geomorfológicas o morfoestructurales grandes: valles maduros, colinas con pendiente moderada (figura 3.26.) Además, dentro de cada una de estas unidades locales existen otras unidades.

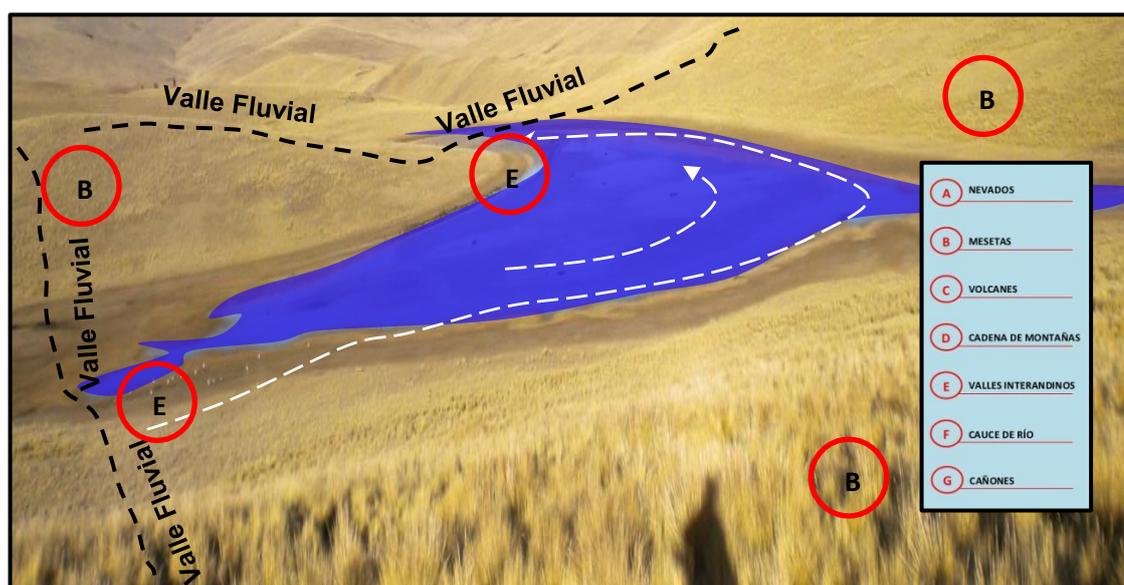


Figura 3.27. Panorámica donde se observa la geomorfología de la laguna Palccaccota (vista desde el margen derecho del dique superior).



Figura 3.28. Unidades geomorfológicas (1) valles Maduros a seniles (2) pendientes moderados (3) valles, seniles cubiertos con presencia de materiales orgánicos, vista desde el margen izquierdo del dique inferior.

3.8.2. LITOLOGÍA Y AMBIENTE SEDIMENTARIO

En la zona de estudio, la Formación Casa Blanca es la más predominante la cual consiste básicamente areniscas de grano grueso, con niveles de conglomerados y brechas sedimentarias principalmente con clastos de areniscas, interpretadas como depósitos de conos aluviales. Asimismo, es común la presencia de niveles con clastos de conglomerados desde tamaños centimétricos hasta tamaños considerables.

Edad Localmente no hay registro de edad de esta unidad, sin embargo, a nivel regional, si se ha mencionado algunas unidades geomorfológicas existentes en el lugar.

Rocas Carbonatadas, Reconocimiento de rocas carbonatadas Definición: Roca Carbonatada es aquella que está formada por más del 50% de minerales carbonatados (aragonito, calcita alta en Mg, calcita baja en Mg, dolomita, otros). Origen: Rocas carbonatadas detríticas: formadas por fragmentos procedentes de la erosión de rocas carbonatadas preexistentes. Genéticamente son similares a un sedimento terrígeno (siliciclástico), pero con los granos de naturaleza carbonatada. Calizas autóctonas o sensu estricto: constituidas por componentes carbonáticos originados primariamente, por procesos químicos o bioquímicos, en un determinado ambiente de sedimentación (continental o marino). Estas constituyen la mayor parte de las rocas carbonatadas dentro del registro estratigráfico. Constituyentes: Aloquemos (aloquímicos) o granos carbonatados: Cualquier tipo de partícula carbonatada de origen bioquímico o químico, que denota un alto grado de organización y complejidad y que normalmente ha sufrido algún grado de transporte. Material intergranular (pasta) u ortoquímicos (KRYNINE P.D, 1972).

Las rocas siliciclásticas, al contrario que las carbonáticas que generalmente se forman "in situ", se generan por procesos de meteorización, erosión, transporte y depósito. Posteriormente, tras su enterramiento sufren una serie

de procesos diagenéticos, al igual que las rocas carbonáticas, cuya consecuencia más importante es que la roca se litifica.

Los componentes de estas rocas van a depender tanto de la fuente de los sedimentos – la composición, el clima, marco tectónico – como también de la duración e intensidad de la meteorización, distancia y tipo de transporte a la cuenca de depósito, entre otros.

3.9. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA

Se ha realizado la descripción de los aspectos geológicos. Así mismo se ha presentado una delimitación de contactos de unidades litológicas que ha modificado sustancialmente los trabajos previos de la zona, se hizo al detalle un levantamiento geológico considerando los compuestos y materiales cuaternarios, de esta manera se delimitó exactamente los afloramientos de rocas sin usar la generalización de manera amplia en la zona.

En la zona de estudio se distinguen diferentes tipos de rocas tales como las rocas sedimentarias, rocas volcánicas y gran parte está cubierto de material cuaternario las cuales son predominantes en la zona.



Figura 3.29. Esquema de la estratigrafía aguas abajo dique inferior.

3.10. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Contiene el apartado de Geología Estructural, en donde se analiza las principales componentes tectónicas de la zona, fallas, fisuras, diaclasas y su peligro actual, gracias a la colocación de una estación microtectónica que permite el análisis de taludes del área. Además se tiene una amplia revisión de la tectónica y los lineamientos regionales que controlan los lineamientos locales observados, siendo este capítulo de mayor estudio y complementación, así mismo se ha utilizado en la etapa de cálculos y el Uso del INGEMMET, como fuente de caracterización de la zona de estudio.

3.10.1. GEODINAMICA EXTERNA

La geodinámica externa en zona de estudio juega un papel muy importante y la acción de los agentes atmosféricos externos: viento, aguas provenientes de los ríos, riachuelos, ojos de agua, hielos, glaciares y gravedad, sobre la capa superficial de la cuenca; fenómenos éstos que van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje de la zona y del relieve, y en cuya

actividad se desprenden materiales que una vez depositados forman las rocas sedimentarias. Igualmente, los efectos resultantes sobre las formas del relieve, evolución y proceso de modelado, es investigado por la geomorfología.

3.10.2. GEODINAMICA INTERNA

Es el conjunto de fuerzas endógenas o internas que modifican estructuralmente la zona de investigación, a través de dos grandes procesos: diastrofismo y magmatismo, estas son la fuerzas constructoras del relieve actual de zona en investigación sobre todo de ojos de agua interna que existe en la zona este fenómeno va dando lugar al relieve actual.

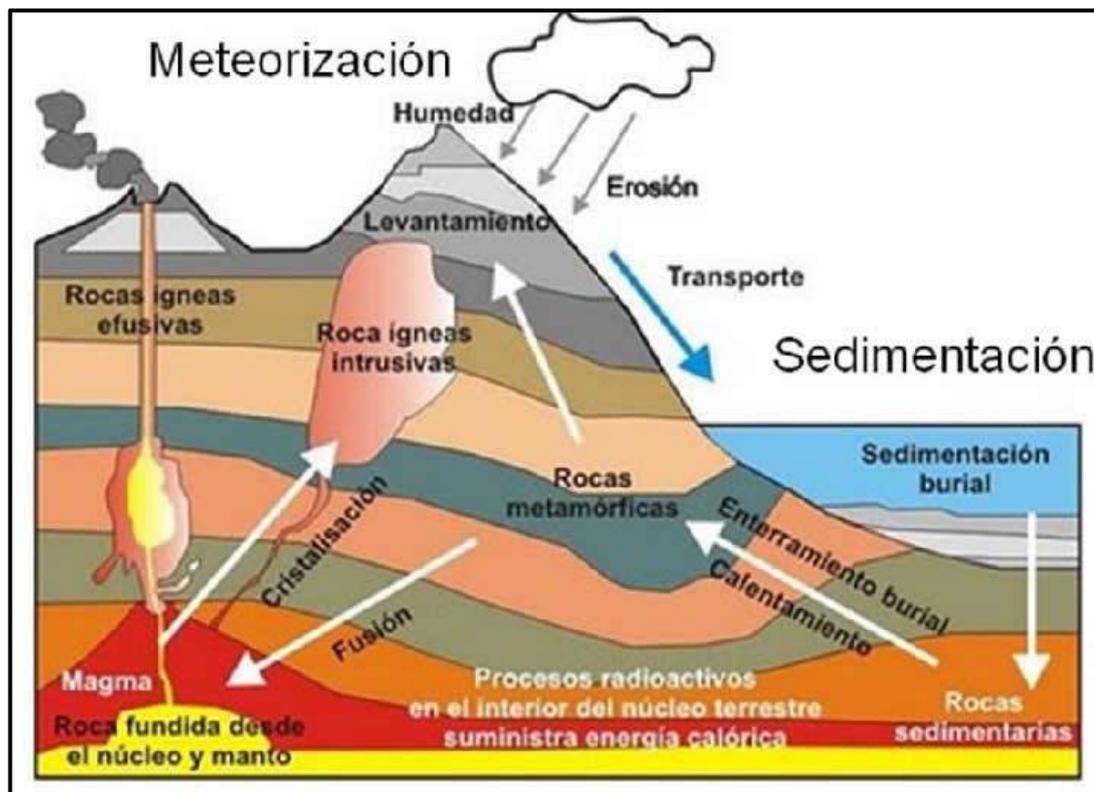


Figura 3.30. Diagrama del ciclo geológico geodinámico interno (Internet).

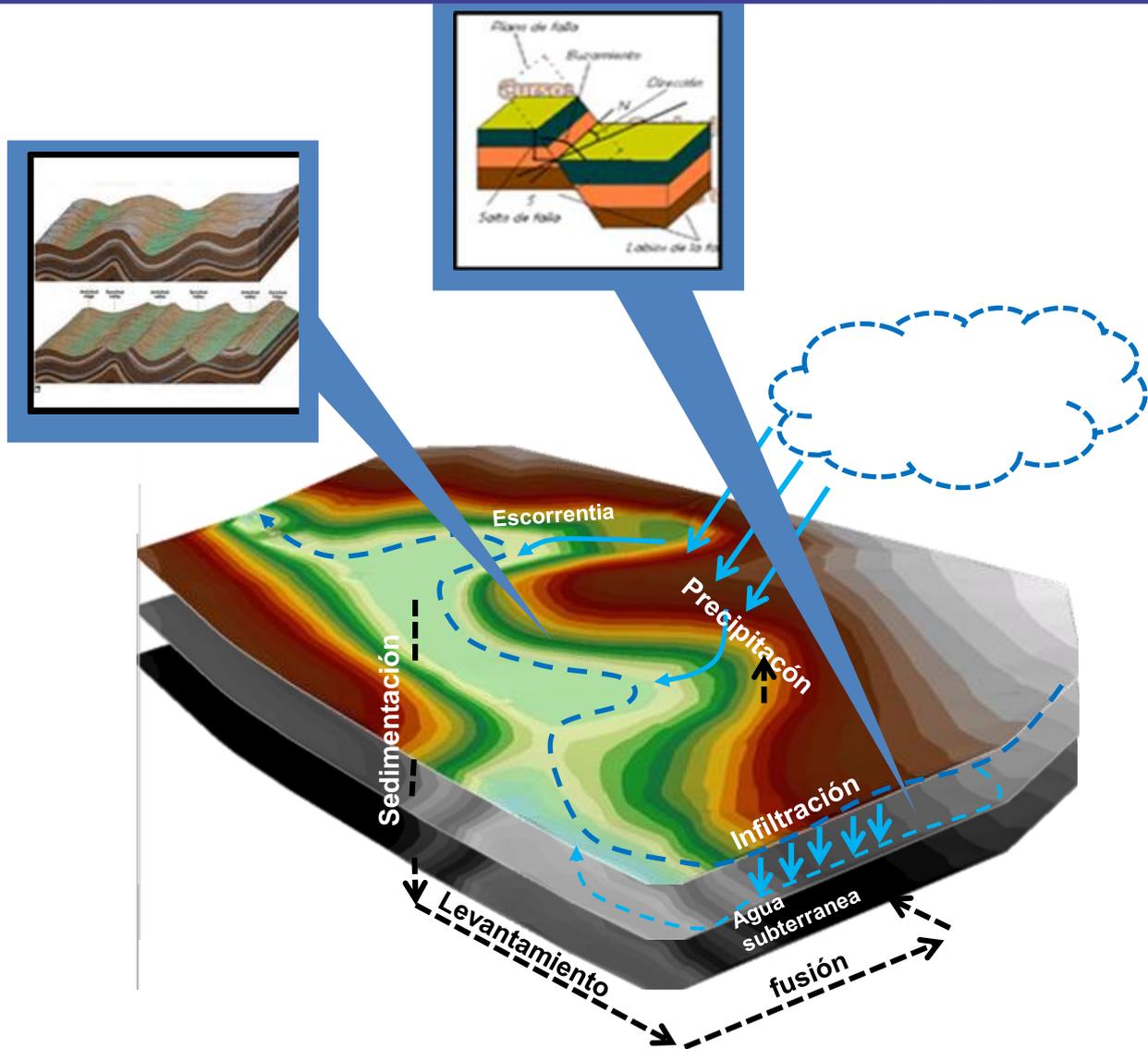


Figura 3.31. Diagrama del ciclo de geológico geodinámica interna y externa de la laguna Palccaccota.

3.11. GEOLOGIA HISTORICA

La secuencia estratigráfica comienza desde la era Cenozoico, Paleogeno hasta el cuaternario con materiales actuales que han sido depositados recientemente a lo largo de la zona de estudio.

Estos materiales han sido emplazados a lo largo de la zona de estudio.

La formación de las lagunas incluyendo la laguna Palccaccota existente en la zona de la comunidad de Pallpata es debido a que ha existido la orogénesis

levantamiento de montañas, y dio la formación de las montañas existentes y las lagunas en la zona de estudio.

La orogénesis se basa básicamente en la formación o rejuvenecimiento de montañas y cordilleras causadas por la deformación compresiva de regiones más o menos extensas de la zona de estudio. Se produce un engrosamiento cortical y los materiales sufren diversas deformaciones tectónicas de carácter compresivo, incluido plegamiento, fallamiento y también el corrimiento de mantos.

De acuerdo a los estudios realizados esta laguna Palccaccota y las otras lagunas aledañas posiblemente se han formado, de acuerdo a su tipo, forma y tamaño, resultado de las diferentes fuerzas que los originaron. La gran mayoría, sin embargo, tiene algo en común: son producto de alguna forma de glaciación, que existía en los tiempos geológicos.

Algunos lagos importantes del mundo son producto de gigantescos movimientos de la corteza terrestre. También puede ser el caso de esta laguna o también pueden surgir cuando un suave plegamiento de la corteza terrestre origina una cuenca poco profunda.

Pero esta laguna Palccaccota no encontramos plegamientos debido a que simplemente está rodeado de material cuaternario, la cual está cubierto de vegetación y es poco profundo la cual se ha obtenido con el estudio Batimétrico.

3.12. PETROLOGIA

3.12.1. ROCAS SEDIMENTARIAS

Estas rocas se han originado a partir de la consolidación de fragmentos de otras rocas, de restos de plantas y animales o de precipitados químicos, se denominan. En la zona también se ha encontrado rocas sedimentarias detríticas son las formadas a partir de la sedimentación de trozos de otras

rocas después de una fase de transporte. La clasificación de estas rocas se basa en los tamaños de los trozos que las componen. Las constituidas por trozos de tamaño grande son los conglomerados, las areniscas poseen granos de tamaño intermedio y los limos y arcillas poseen trozos muy pequeños.

En cuanto regionalmente se ha encontrado también presencia de rocas sedimentarias químicas y orgánicas son las formadas a partir de la precipitación de determinados compuestos químicos en soluciones acuosas o bien por acumulación de sustancias de origen orgánico. Un tipo muy común es la roca caliza, formada en su mayor parte por restos de organismos como corales, algas, etc. aunque también puede originarse por precipitación de cementos calcáreos. Las tobas calcáreas son rocas muy porosas y con abundantes restos vegetales que se originan en los ríos cuando el carbonato de calcio precipita sobre la vegetación.

La cantera de arcilla que se ha encontrado en la zona es la descomposición de las calizas para la cual es muy esencial para este tipo de obras como es la presa de tierra.

3.12.1.1. ARENISCAS CUARCITICAS

La arenisca cuarcítica de alto contenido de cuarzo bordeaba todo el lugar de la zona de estudio la cual es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena pero bien resistentes la cual también se puede aprovechar también como enrocado en los taludes de la presa de tierra. Las areniscas contienen espacios intersticiales entre sus granos. En rocas de origen reciente estos espacios están sin material sólido mientras que en rocas antiguas están rellenos de una matriz o de cemento de sílice o carbonato de calcio en algunos casos.

3.12.1.2. CONGLOMERADOS

También se ha visto las rocas detríticas de grano grueso en la parte de Ccajlluma la cual se está tomando como cantera de roca para enrocado en la presa de tierra, este conglomerado es una roca sedimentaria de tipo detrítico formada por cantos redondeados de otras rocas unidos por un cemento muy resistente. Se distingue de las brechas en que éstas consisten en fragmentos angulares. Ambas se caracterizan porque sus fragmentos constitutivos son mayores que los de la arena (>2 mm).

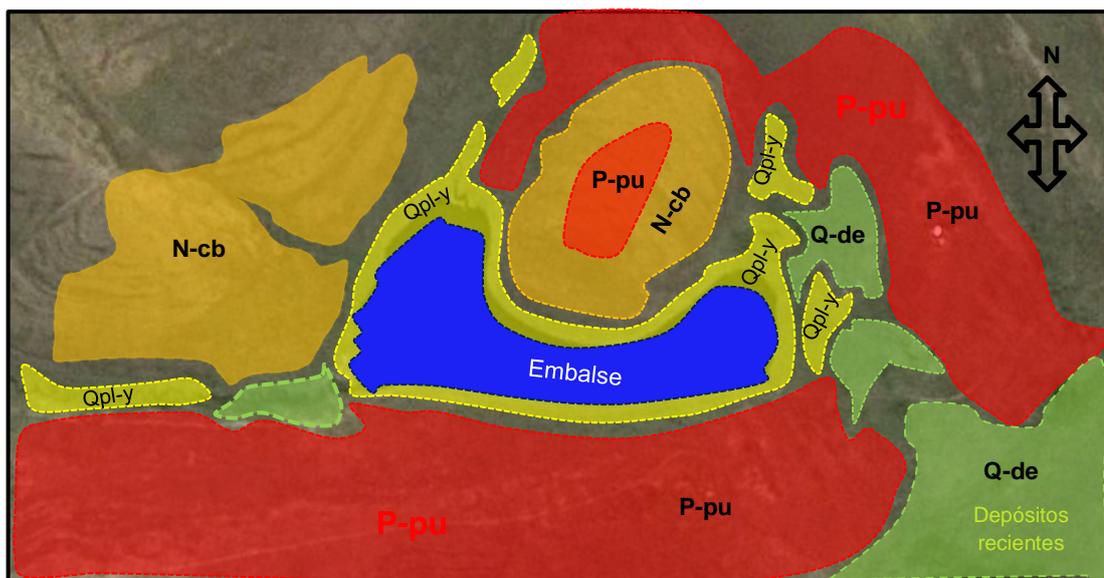
3.12.2. ROCAS VOLCANICAS

También se ha visto la presencia de rocas volcánicas o extrusivas son aquellas rocas ígneas que se formaron por el enfriamiento de lava en la superficie terrestre o de magma (masa de materia fundida subterránea) a escasa profundidad.

Se ha visto en cortes de carreteras a lo largo de los cortes de carretera las rocas volcánicas. En toda la zona donde se está planteando el eje del canal y los ramales.

3.12.3. TUFOS VOLCÁNICOS

Se ha visto a lo largo de la zona de estudio en forma de pequeños depósitos de afloramientos las cuales están subrayando en el río Ccairawiri en el desvío Ajoyani. La cual se nota claramente de coloraciones blanquecinas a amarillentos en formas de capas y bien compactadas las cuales hayan sido transportadas por la geodinámica externa e interna que se ha suscitado en la zona.



P-pu	Cuarcíticas y Conglomerados del (P-pu)
N-cb	Rocas correspondientes a la formación (N-cb)
Qpl-y	Depósitos de material suelto, depósitos aluviales (Qpl-y)
Q-de	Depósitos diluviales (Q-de)

Figura 3.32. Descripción de afloramientos de rocas, depósitos aluviales y coluviales

CAPITULO IV

ANALISIS Y EXPOSICION DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS Y EVALUACION DEL TERRENO DE LA CIMENTACIÓN EN EL EJE SUPERIOR E INFERIOR DE LA PRESA DE TIERRA Y EMBALSE

El trabajo de mecánica de suelos se desarrolló con el objetivo principal de investigar las características del suelo que nos permitan establecer los criterios de diseño.

Para este estudio se han tomado muestras de las calicatas que se ha realizado en la laguna Palccaccota, a lo largo del vaso en el embalse donde se almacenara el agua en la presa de tierra y en ambos diques donde se construirá la presa de tierra, para determinar sus características del suelo y la estratigrafía y composición correspondiente para su posterior análisis en el laboratorio e indicar sus características y propiedades físicas y mecánicas de los suelos obtenidos del muestreo, las que servirán de base para determinar sus cualidades.

Según los resultados de las exploraciones de calicatas realizadas en el dique inferior, dique superior y en el embalse donde se acumulara gran cantidad de agua almacenada se han realizado calicatas y ensayo de penetración (DPL) en cada calicata de los diques para ver la capacidad portante del suelo y para el análisis y evaluación geológica y geotécnica para la construcción de la de presa de tierra en la laguna Palccaccota.

Estos trabajos se realizaron para evaluar los materiales que componen el terreno de fundación para determinar la capacidad portante del suelo en la zona de estudio con fines de la construcción de la obra.

4.1.1. ANALISIS DEL TERRENO DE LA CIMENTACIÓN EN EL DIQUE INFERIOR

Está ubicado en la parte inferior de la laguna. Las características de los suelos de fundación es buena, según las evaluaciones realizadas en campo, superficialmente existe filtraciones o permeabilidad es alta hasta 2.00 metros de profundidad, por debajo de 2.00 metros las características del suelo no se aprecia el nivel freático, porque el suelos de fundación se encuentra en estado bien consolidado, las características el terreno de fundación están conformados de limos, arcillas, arenas y partículas granulares (bloque de roca), la morfología de la superficie del dique están cubiertos de vegetación con pendiente muy suave, la presencia de los arbustos las raíces penetran hasta 0.20 a 0.50 metros.

La erosión superficial no se parecía en los alrededores del dique, debido a la topografía de la zona.

La geodinámica del área en estudio son mininos no hay presencia de riesgo alguno en el proceso constructivo.

Según las calicatas realizadas en el dique inferior C-07, C-08 y C-09, la descripción de las calicatas son como se detalla a continuación:

CALICATA C-07 MARGEN DERECHO DE LA CIMENTACION, esta calicata se ha realizo con una profundidad de 1.20m el margen derecho del eje del dique Inferior presenta material orgánico con vegetación color gris oscuro con intercalaciones de limo y raíces, Material limo arcilloso de coloración blanquecino a amarillento bien compacto, Material con limo, arena y roca triturada color gris amarillento a rojizo bien compacto.

Para la clasificación geotécnica se ha realizado el ensayo de granulometría la cual indica que una SM arena limosas con intercalaciones de arena y limo.

DPL-2 en la **C-07**: según los resultados obtenidos con la penetración dinámica ligera, que nos indica que a 4.20 m. es la máxima profundidad que llega hasta el basamento resistente, en la margen derecho del eje de la presa de dique inferior se encuentra el macizo rocoso el cual será el terreno de fundación de la presa, se determinara las características geotécnicas.

CALICATA C-08 EN EL EJE DE LA CIMENTACION, esta calicata se ha realizado con una profundidad de 4.50m en el medio del eje del dique inferior presenta material orgánico con vegetación color negro oscuro con intercalaciones raíces de vegetación, material limoso con intercalaciones de arena y grava de color gris amarillento con bastante filtración de agua, presenta material arcilloso con intercalaciones de limo, arcilla de baja plasticidad algo húmedo, se presenta algo compacto, material arcilloso con plasticidad baja y algo de limo y roca litificada muy fina y húmedo.

Para la clasificación geotécnica se ha realizado el ensayo de granulometría la cual indica que una ML limos inorgánicos y arenas muy finas limos muy limpios, arenas finas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.



Figura 4.1. Calicatas realizadas Dique Inferior C-08, prof=450m.

DPL-1 en la **C-08**: según los resultados obtenidos con la penetración dinámica ligera, que nos indica que a 4.50 m. es la máxima profundidad que llega hasta el basamento resistente, en eje de la presa de dique inferior se encuentra el macizo rocoso el cual será el terreno de fundación de la presa, se determinara las características geotécnicas. Este punto donde se implantara la cimentación de la presa de tierra para lo cual en análisis y evaluación geológica y geotécnica juega un papel muy importante en su estudio según los resultados a 9m de profundidad la presencia del basamento rocoso.

CALICATA C-09 MARGEN IZQUIERDO DE LA CIMENTACION, esta calicata se ha realizado con una profundidad de 1.50m en el margen izquierdo de la presa del dique Inferior presenta material orgánico con vegetación color negro oscuro con intercalaciones de limo, presenta material limo arcillosos color gris oscuro con algo de intercalaciones de roca muy fina triturada, material limoso con arcilla de baja plasticidad de coloración rojo pardo a húmedo.

Para la clasificación geotécnica se ha realizado el ensayo de granulometría las cual indica que una SC arenas arcillosas mezcla de arena y arcilla.



Figura 4.2. Calicata C-09, NF=1.30, Profundidad=1.50m, dique Inferior.

DPL-3 en la C-09: según los resultados obtenidos con la penetración dinámica ligera, que nos indica que a 4.10 m. es la máxima profundidad que llega hasta el basamento rocoso, en la margen izquierdo de la presa de dique inferior se encuentra el macizo rocoso el cual será el terreno de fundación de la presa, se determinara las características geotécnicas. Este punto donde se implantara la pared derecha de la cimentación de la presa de tierra para lo cual el análisis y evaluación geológica y geotécnica juegan un papel muy importante según el rechazo obtenido por el ensayo de penetración dinámica ligera de la presencia del basamento rocoso ha sido en los 4.10 m. Con respecto al nivel de fondo de la calicata haciendo un total de 5.60 m de profundidad respecto al terreno natural.

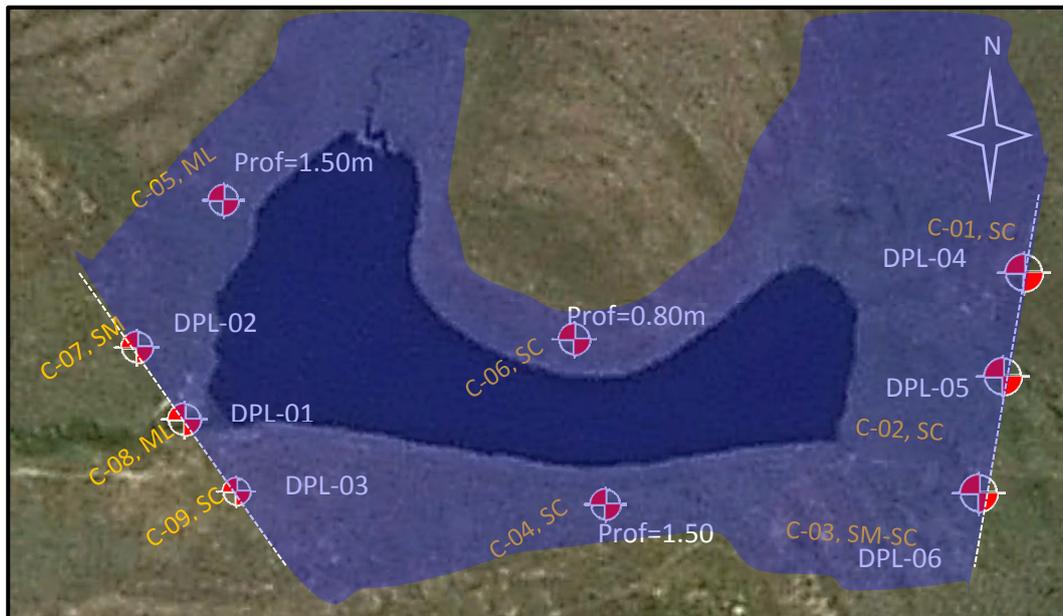


Figura 4.3. Descripción de calicatas y sondeo de cada DPL.

Cuadro 4.1. Resumen de características y parámetros geotécnicos de las calicatas.

N°	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD (%)	LL	IP	SUCS	AASHTO
1	C-01	1.50	14.63	30.34	8.41	SC	A-2-4(0)
2	C-02	4.50	23.53	41.74	13.4	SC	A-2-7(1)
3	C-03	1.50	10.86	25.32	4.17	SM-SC	A-2-4(0)
4	C-04	1.50	21.6	30.63	8.03	SC	A-4(1)
5	C-05	1.50	21.22	27.76	4.43	ML	A-4(5)
6	C-06	0.80	28.53	35.62	10.26	SC	A-2-6(0)
7	C-07	1.20	11.33	27.53	4.63	SM	A-4(0)
8	C-08	4.50	20.47	40.32	13.29	ML	A-7-6(9)
9	C-09	1.50	17.68	37.58	11.88	SC	A-6(3)

Cuadro 4.2. Resumen de profundidad de rechazo con (DPL).

N°	CALICATA	DPL(m)	PROFUNDIDAD (m)	RECHAZO A PROFUNDIDAD(m)
1	C-08	DPL-01	4.50	4.50
2	C-07	DPL-02	4.20	4.20
3	C-09	DPL-03	4.10	4.10
4	C-01	DPL-04	4.60	4.60
5	C-02	DPL-05	5.40	5.40
6	C-03	DPL-06	4.00	4.00

4.1.2. ANALISIS DE LA CIMENTACIÓN EN EL DIQUE SUPERIOR

Según las evaluaciones realizadas en campo el dique superior están conformados de material arena limosa y arena arcillosa en estado compacto, en el área del dique no se aprecia filtraciones en la parte de abajo, para lo cual en el proceso de construcción no habrá riesgo alguno, la geodinámica del dique son mínimos debido a la morfología del terreno superficial cubierto de vegetación hacia la profundidad el suelos de fundación es compacto bien consolidado en el área del proyecto no se observa erosión de la superficie, las características de suelos es con presencia de intercalaciones de partículas granulares, según las evaluaciones o exploraciones realizadas en in situ nos indica que no hay riesgo alguno en el proceso constructivo y en lo posterior.

CALICATA C-01 MARGEN DERECHO DE LA CIMENTACION, esta calicata se ha realizado con una profundidad de 1.50m en el margen derecho de la presa del dique superior presenta material los primeros 0.20 m representan material cuaternario como raíces de ichu, pastos y seguido de suelo de coloración gris oscuro de material orgánico con intercalaciones de grava angulosa a subangulosa, luego seguidamente se aprecia arcilla con intercalaciones de limo con algo de roca sedimentaria triturada bien litificada.

Para la clasificación geotécnica según Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.). Que se ha realizado el ensayo de granulometría la cual indica que una SC arenas arcillosas mezcla de arena y arcilla.



Figura 4.4. Calicata C-01, NF=1.30, Profundidad=1.50m, dique superior.

DPL-04 en la **C-01**: según los resultados obtenidos con la penetración dinámica ligera, que nos indica que a 4.60 m. es la máxima profundidad que llega hasta el basamento rocoso, en la margen derecha de la presa de dique superior se encuentra el macizo rocoso el cual será el terreno de fundación de la presa, se determinara las características geotécnicas. Este punto donde se implantara la parte derecha de la cimentación de la presa de tierra para lo cual el análisis y evaluación geológica y geotécnica juegan un papel muy importante según el rechazo obtenido por el ensayo de penetración dinámica ligera de la presencia del basamento rocoso ha sido en los 4.60 m. Con respecto al nivel de fondo de la calicata haciendo un total de 6.10 m de profundidad respecto al terreno natural.

CALICATA C-02 EJE SUPERIOR DE LA CIMENTACION, esta calicata se ha realizado con una profundidad de 4.50m en el eje de la cimentación de la presa del dique superior de igual forma se puede describir presencia de material orgánicos los primeros 0.30m luego se presenta material de coloración gris oscuro bien compacto, a medida que se va profundizando se puede apreciar material arcilloso con intercalaciones de limo bien consolidado de coloración rojizo a amarillento más arcilla que limo con algo de roca muy fina bien compacto.

Para la clasificación geotécnica según Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.). Que se ha realizado el ensayo de granulometría para esta

calicata la cual indica que una SC arenas arcillosas mezcla de arena y arcilla.



Figura 4.5. C-02, con bastante infiltración en el eje del Dique Superior profundidad de calicata 4.50m. NF=1.70m suelo material Orgánico, y material arcilloso con presencia de limo y roca tritura muy fina.

DPL-05 en la **C-02**: según los resultados obtenidos con la penetración dinámica ligera DPL, que nos indica que a 5.40 m. es la máxima profundidad que llega hasta el basamento resistente rocoso, en el eje de la cimentación de la presa del dique superior se encuentra el macizo rocoso el cual será el terreno de fundación de la presa en el eje de la cimentación, se determinaron las características geotécnicas. Este punto donde se implantara la parte central y el núcleo de la cimentación de la presa de tierra para lo cual el análisis y evaluación geológica y geotécnica juegan un papel muy importante según el rechazo obtenido por el ensayo de penetración dinámica ligera de la presencia del basamento rocoso ha sido en los 5.40 m. Con respecto al nivel de fondo de la calicata haciendo un total de 9.90 m de profundidad respecto al terreno natural.

CALICATA C-03 MARGEN IZQUIERO DE LA CIMENTACION, esta calicata se ha realizado con una profundidad de 1.50m en el eje de la

cimentación de la presa del dique superior de igual forma se puede describir presencia de material cubierto de vegetación los primeros 0.40m con raíces y presencia de material orgánico con pastos, luego a los 0.80 se pueden apreciar gravas con intercalaciones de limo y roca triturada bastante consolidado de coloración gris oscuro a parduzco con rocas angulosas a subangulosas diámetro que varían de 0.01m-0.05m, luego se materiales de arena arcillosa con intercalaciones de grava de color pardo gris oscuro.

Para la clasificación geotécnica según Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.). Que se ha realizado el ensayo de granulometría para esta calicata la cual indica que una SM-SC, arenas limosas mezclas de arena y limo con presencia de arenas arcillosas mezcla de arena y arcilla.

DPL-06 en la **C-03**: de acuerdo a los resultados obtenidos con la penetración dinámica ligera DPL, que nos indica que a 1.50 m. es la máxima profundidad que llega hasta el basamento resistente rocoso, en el margen izquierdo de la presa en el dique superior de la cimentación de la presa se encuentra el basamento el cual será el terreno de fundación de la presa e en el margen izquierdo de la presa en el dique superior para cimentación, se determinaron las características geotécnicas. Este punto donde se implantara la parte lateral izquierdo de la cimentación de la presa de tierra para lo cual el análisis y evaluación geológica y geotécnica según el rechazo obtenido por el ensayo de penetración dinámica ligera de la presencia del basamento rocoso ha sido a los 4.00 m. Con respecto al nivel de fondo de la calicata haciendo un total de 5.50 m de profundidad respecto al terreno natural.

Cuadro 4.3. Descripción de calicatas y DPL.

N°	DESCRIPCION	MARGEN	DPL	PROFUNDIDAD(m)	HUMEDAD(%)	LL	IP	SUCS	AASHTO
1	C-01	DIQUE SUPERIOR	DPL-01	1.50	14.63	30.34	8.41	SC	A-2-4(0)
2	C-02	DIQUE SUPERIOR EJE	DPL-02	4.50	23.53	41.74	13.4	SC	A-2-7(1)
3	C-03	DIQUE SUPERIOR	DPL-03	1.50	10.86	25.32	4.17	SM-SC	A-2-4(0)
4	C-04	EMBALSE DERECHO	NO CORRESPONDE	1.50	21.6	30.63	8.03	SC	A-4(1)
5	C-05	EMBALSE IZQUIERDO	NO CORRESPONDE	1.50	21.22	27.76	4.43	ML	A-4(5)
6	C-06	EMBALSE DERECHO	NO CORRESPONDE	0.80	28.53	35.62	10.26	SC	A-2-6(0)
7	C-07	DIQUE INFERIOR	DPL-04	1.20	11.33	27.53	4.63	SM	A-4(0)
8	C-08	DIQUE INFERIOR EJE	DPL-05	4.50	20.47	40.32	13.29	ML	A-7-6(9)
9	C-09	DIQUE INFERIOR	DPL-06	1.50	17.68	37.58	11.88	SC	A-6(3)

4.1.3. ANALISIS DEL TERRENO EN EL VASO DEL EMBALSE

Las exploraciones realizadas en la laguna Palccaccota permitieron la evaluación geotécnica de los suelos como en los diques, superior e inferior, también se realizaron calicatas en ambos flancos del vaso, con la finalidad de evaluar o caracterizar los suelos de fundación sus propiedades físicas y mecánicas, según los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 4.4. Y cuadro 4.5.

Las calicatas se realizaron tanto manualmente y con la retroexcavadora caterpillar 420d en los diques de la presa de tierra tanto en la parte inferior y superior de la laguna Palccaccota, en puntos específicos de acuerdo al área establecida. La profundidad es variable de acuerdo al estudio tanto en el eje del dique como en los laterales del vaso de la presa de tierra donde estará embalsado el agua, empleándose herramientas tales como pala, pico, barreta y maquinaria. A medida que ha profundiza los materiales han sido variables y bastante resistentes.

Las calicatas que se realizaron en el vaso y en dique de la presa de tierra se detallan como indica en anexos.

Las características de los suelos de fundación de la laguna denominada Palccaccota, según las calicatas realizadas C-04, C-05 y C-06 están conformados de arenas, limosas en menor cantidad de arcillas con algunas intercalaciones de bloques de roca, superficialmente cubiertos de los arbustos, los raíces de las plantas abarcan hasta 0.20 a 0.50 metros de la superficie de profundidad. Posteriormente están conformadas de material finos y granulares en ambos flancos en estado compacto, cuando el nivel de agua se eleve en el vaso no habrá pérdidas de infiltración porque el terreno de fundación hacia la profundidad mejora las condiciones de impermeabilidad (en estado compacto o bien consolidados).

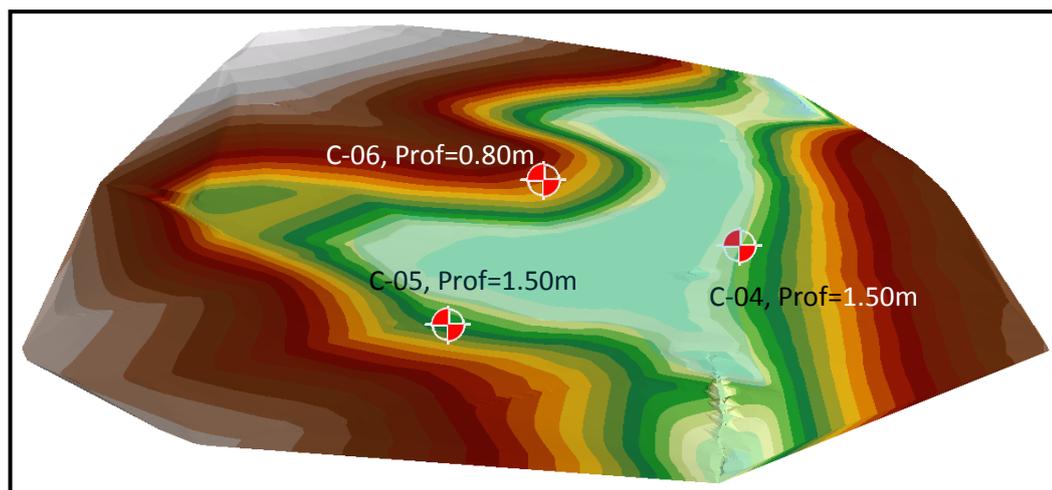


Figura 4.6. Calicatas realizadas en el embalse.

El vaso de Laguna Palccaccota está conformado por suelos arenas, limos, arcillas con intercalaciones de material granular (clastos de roca), ligeramente a medianamente plásticas, englobados gravas y arenas en algunos casos, estos por su ambiente de deposición lagunar ofrece rangos de permeabilidad bastante bajos por ser compacto el suelos de fundación según las evaluaciones realizadas en campo. Actual laguna es un vaso permanente siempre permanece con agua en toda época. En ese sentido, acorde a los tipos de suelos hallados, estas zonas presentarían un rango de permeabilidad estimada según la clasificación de suelos (SC, ML) $k = 10^{-5}$ cm/seg, indicándonos estar en presencia de suelos casi o impermeabilidad baja, características que ofrece una buena estanqueidad del Vaso. Esto se ve más favorecido aun, por la existencia de vegetación superficial y la continuación acción del intemperismo sobre estos suelos superficiales, que vienen a funcionar como un tapiz natural existente.

En las áreas donde el Vaso de Laguna Palccaccota se encuentra delimitado por suelos granulares como arenas es material superficial hacia la profundidad el suelos de fundación es más compacto y consolidado, se estima que al sobre elevar el nivel de la Laguna, se originarían filtraciones pero que no serán muy significativas.

En resumen se considera que el aumento del nivel de las aguas a embalsar interesaran mayormente suelos que corresponden al antiguo lecho marginal de la laguna, lecho que es permeabilidad baja y que impedirá fugas o

filtraciones que podrían ser estimadas como cuantiosas, todo lo contrario, ello sería mínimo. Asimismo en cuanto a la estabilidad de sus laderas, se considera que estas no se verán afectados y que en general presentan un equilibrio estable, no detectándose indicio alguno de posible ocurrencia de fenómenos geodinámicas externos e internos.

C-04: esta calicata se ubica en la ladera del talud derecho de la laguna Palccaccota(N-E), con una profundidad de 150m Se aprecia material orgánico color negro con vegetación bien húmedo, presenta material arcilloso de alta plasticidad con presencia de algo de limo; resenta material limoso con intercalaciones de arcilla y roca triturada muy fina bien consolidado y bastante húmedo. Para la clasificación geotécnica según Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.). Representa un SC.

C-05: Esta calicata Ladera del talud Izquierdo de la laguna Palccaccota(S-E), Para la clasificación geotécnica según Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.). Representa un ML. Y esta Presenta material orgánico con vegetación color negro oscuro con intercalaciones de limo. Presenta también material limoso con intercalaciones de arcilla y roca triturada muy fina bien consolidadas y bastante húmedas de coloración rojo parduzco. Presencia de material arcillosos con intercalaciones de roca triturada muy fina y bien consolidado filtración de agua continua, bastante rápido. Con una profundidad de 1.50m.

C-06: esta calicata se ubica en ladera del talud Derecho de la laguna Palccaccota(N-W), con una profundidad de 0.80m, Para la clasificación geotécnica según Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.). Representa un SC. Presenta material orgánico con vegetación color negro oscuro con algo de intercalaciones de limo, arcilla limosa con presencia de material de roca triturada coloración rojo amarillento a pardo con intercalaciones de roca triturada. También presenta material arcilloso con intercalaciones de limo y roca triturada muy fina bien consolidado y bastante húmedo, presencia de material arcilloso con limo filtración de agua continua en el embalse el nivel freático en la superficie a 0.10m.

Cuadro 4.4. Resumen de descripción de calicatas en el embalse.

N°	CALICATA	MARGEN	PROFUNDIDAD (m)
1	C-04	EMBALSE DERECHO	1.50
2	C-05	EMBALSE IZQUIERDO	1.50
3	C-06	EMBALSE DERECHO	0.80

Cuadro 4.5. Descripción de parámetros geotécnicos de las calicatas en el embalse.

N°	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD (%)	LL	IP	SUCS	AASHTO
1	C-04	1.50	21.6	30.63	8.03	SC	A-4(1)
2	C-05	1.50	21.22	27.76	4.43	ML	A-4(5)
3	C-06	0.80	28.53	35.62	10.26	SC	A-2-6(0)

4.2. PARÁMETROS DE SITIO

a.- Zonificación de la zona de estudio

El territorio nacional se considera dividido en tres zonas, como se muestra en la Figura 4.7. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neotectónica, se indican las provincias que corresponden a cada zona.



Figura 4.7. Mapa de zonificación sísmica del Perú (RNC, 2016).

Tabla 4.1. Coeficiente de factores de Zona (Ponencia presentada al XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco, 1999. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio Geotécnico del CISMID, Jorge E. Alva Hurtado, Miguel Infantes Quijano, Diseño sísmico de presas de tierra y enrocado).

COEFICIENTE SÍSMICO PROPUESTO PARA PRESAS PEQUEÑAS Y (Rúestã, P., Diaz, J. Y Alva, J., 1988)		
ZONA	PRESAS DE TIERRA	PRESAS DE ENROCADO
I	0.15 – 0.25	0.10 – 0.20
II	0.10 – 0.15	0.05 – 0.10
III	0.05 – 0.10	0.05

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la cuadro 4.6. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años.

Cuadro 4.6. Factores de Zona.

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

b.- Condiciones Geotécnicas

según cuadro 4.7. Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelos son cuatro:

- a) Perfil tipo S1: Roca o suelos muy rígidos.
- b) Perfil tipo S2: Suelos intermedios.
- c) Perfil tipo S3: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor.
- d) Perfil Tipo S4: Condiciones excepcionales.

En zona de estudio se ha determinado el perfil tipo S2 en diques y en línea se trazó que son suelos intermedios.

Cuadro 4.7. Parámetros de suelo.

Tipo	Descripción	Tp(S)	S
S1	Rocas o suelos muy rígidos	0.4	1.0
S2	Suelos intermedios	0.6	1.2
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
S4	Condiciones excepcionales	*	*

4.3. SISMICIDAD

La zona de estudios se localiza en Zona 2 del mapa de zonificación sísmica del Perú y corresponde a la zona de baja sismicidad.

De acuerdo a las características del subsuelo de cimentación, según la Norma de diseño sismo resistente (RNE E-030), se tomaron los siguientes valores para zona en estudio.

Zona	:	2
Factor de zona	:	$Z = 0.25$
Clasificación del Suelo	:	$S = 1.2$
Periodo Predominante	:	$T_p = 0.6$

4.4. EVALUACION DE SUELOS Y FUNDACION

4.4.1. ANALISIS DE CIMENTACION DE LOS DIQUES

Las condiciones de estabilidad de diseño de la cimentación están dadas por el cálculo de la capacidad de carga, de acuerdo a los parámetros de comportamiento dinámico de los estratos predominantes. Debido a las condiciones de las estructuras y al tipo de suelos encontrados en la excavación en campo.

4.4.2. CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE FUNDACION

Extraídas las muestras alteradas e inalteradas, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio que nos permita obtener la resistencia portante del suelo, estas pruebas de resistencia en laboratorio miden la resistencia del suelo a fin de calcular su capacidad de carga, la resistencia a los empujes laterales de la propia tierra.

Para la determinación de la capacidad de carga del suelo, en el nivel de fundación de la presa, de cimentación en construcción, se calcula en base a las características del suelo, los cuales fueron determinados mediante trabajos de campo y laboratorio.

4.4.2.1. LA ECUACIÓN GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Meyerhof (1963), se utilizará la ecuación (2.1) y (2.2) propuesta en el acápite anterior.

Carga vertical:

$$Q_u = c * N_c * S_c * D_c + \gamma * D * N_q * S_q * D_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * D_\gamma$$

N_c, N_q, N_r , Factores de capacidad de Meyerhof que depende de, ϕ .

$$N_c = \cot\phi(N_q - 1)$$

$$N_q = e^{1.4\phi} \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

S_c, S_q, S_γ , Factores de forma

D_c, D_q, D_γ , Factores de profundidad

$$Q_a = \frac{Q_u}{F.S.}$$

Aplicando las ecuaciones 2.1. Y la ecuación 2.2. Se realizan los cálculos correspondientes para obtener la capacidad admisible en el nivel de desplante de los diques superior e inferior.

4.4.3. CALICATA Nº 02 DIQUE DEL EJE MEDIO SUPERIOR

Cuadro 4.8. Parámetros geotécnicos de la C-02.

Cohesión (kg/m ²)	Angulo de fricción interna (°)	Densidad natural seca (Kg/m ³)	Densidad humedad (Kg/m ³)	Profundidad de cimentación Df.(m)	Clasificación de SUCS	Factor de seguridad
760	14.15	1740	2060	4.50	SC	3.5

La capacidad de carga admisible, a medida que aumenta la profundidad el terreno de fundación en la cimentación donde se desplantara el dique la capacidad de carga admisible aumenta a una razón creciente de 1.04 Kg/cm² a una profundidad de nivel de desplante de 2m. Y 1.50 Kg/cm² a una profundidad de nivel de desplante 4.50m. Este el nivel donde descansará el superior.



Figura 4.8. Base de la cimentación dique superior.

Cuadro 4.9. Factores para el cálculo de carga última en el terreno de fundación dique superior.

$\phi(^{\circ})$	B(m)	L(m)	D(m)	c(Kg/m ²)	γ (kg/m ³)	F.S.	Kpr	Nc	Sc	Dc	Nq	Sq	Dq	N γ	S γ	D γ	Qu(kg/m ²)	Qa(kg/m ²)	Qa(kg/cm ²)
14.15	18	220	2	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	36266.16	10361.76	1.04
14.15	18	220	2.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	39485.47	11281.56	1.13
14.15	18	220	3	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	42706.66	12201.90	1.22
14.15	18	220	3.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	45929.71	13122.78	1.31
14.15	18	220	4	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	49154.64	14044.18	1.40
14.15	18	220	4.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	52381.44	14966.12	1.50
14.15	18	220	5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	55610.10	15888.60	1.59
14.15	18	220	5.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	58840.64	16811.61	1.68
14.15	18	220	6	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	62073.05	17735.16	1.77
14.15	18	220	6.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	65307.33	18659.24	1.87
14.15	18	220	7	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	68543.48	19583.85	1.96
14.15	18	220	7.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	71781.50	20509.00	2.05
14.15	18	220	8	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	75021.39	21434.68	2.14
14.15	18	220	8.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	78263.15	22360.90	2.24
14.15	18	220	9	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	81506.78	23287.65	2.33
14.15	18	220	9.5	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	84752.28	24214.94	2.42
14.15	18	220	9.9	760	1740	3.5	1.647	10.5	1.0	1.02	3.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	87350.03	24957.15	2.50

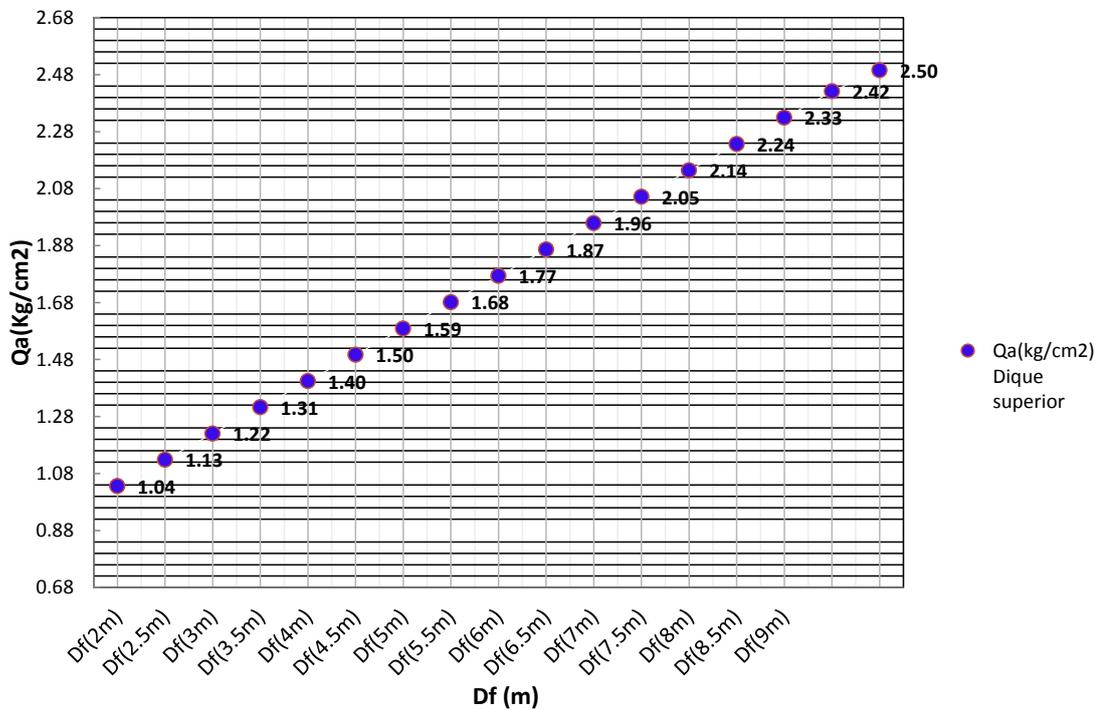


Figura 4.9. Profundidad vs Qa(kg/cm²) del dique superior.

En la figura 4.9. Muestra las capacidades carga admisible calculado con la ecuación (2.1) y (2.2). planteado por Meyerhof para este tipo de cimentaciones se observa que a medida que el nivel de desplante aumenta la capacidad de carga admisible también aumenta, a una profundidad de 2.0m la capacidad de Qa es de 1.04kg/cm² en el dique superior donde se construirá la presa de tierra, a una profundidad de 4.50m la capacidad de Qa es de 1.50kg/cm², a esta profundidad llega la calicata C-02 realizado en el dique superior, a una profundidad de 9.90m la capacidad de Qa es de 2.50kg/cm², esta profundidad llega el ensayo de penetración dinámica ligera DPL-05 realizado dentro de la

calicata en el dique superior a esta profundidad se pretende plantear el nivel de desplante de la presa.

4.4.4. CALICATA N°08 DIQUE DEL EJE MEDIO INFERIOR

Cuadro 4.10. Parámetros geotécnicos de la C-08.

Cohesión (kg/m ²)	Angulo de fricción interna (°)	Densidad natural seca (Kg/m ³)	Densidad humedad (Kg/m ³)	Profundidad de cimentación Df.(m)	Clasificación de SUCS	Factor de seguridad
900	11.045°	1660	2030	4.50	ML	3.5

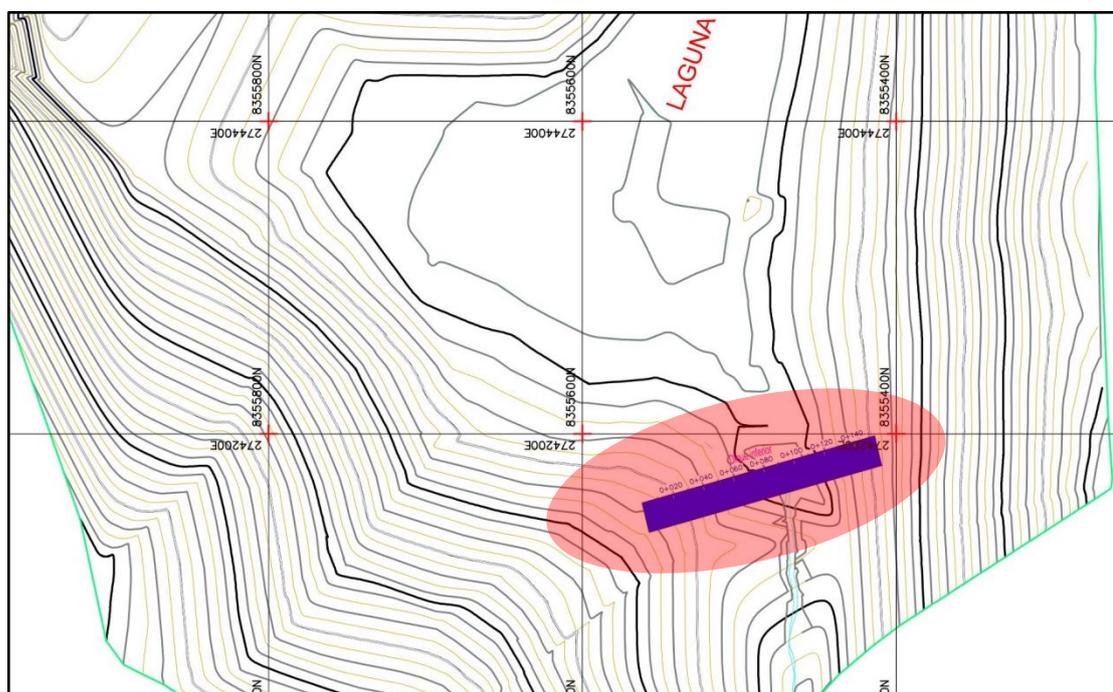


Figura 4.10. Base de la cimentación dique inferior.

Cuadro 4.11. Factores para el cálculo de carga ultima en el terreno de fundación del dique inferior.

Φ(°)	B(m)	L(m)	D(m)	c(Kg/m ²)	γ(kg/m ³)	F.S.	Kpr	Nc	Sc	Dc	Nq	Sq	Dq	Ny	Sy	Dy	Qu(kg/m ²)	Qa(kg/m ²)	Qa(kg/cm ²)
11.05	18	160	2	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	24867.29	7104.94	0.71
11.05	18	160	2.5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	27174.17	7764.05	0.78
11.05	18	160	3	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	29482.79	8423.65	0.84
11.05	18	160	3.5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	31793.15	9083.76	0.91
11.05	18	160	4	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	34105.25	9744.36	0.97
11.05	18	160	4.5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	36419.09	10405.45	1.04
11.05	18	160	5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	38734.68	11067.05	1.11
11.05	18	160	5.5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	41052.01	11729.15	1.17
11.05	18	160	6	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	43371.08	12391.74	1.24
11.05	18	160	6.5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	45691.89	13054.83	1.31
11.05	18	160	7	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	48014.45	13718.41	1.37
11.05	18	160	7.5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	50338.75	14382.50	1.44
11.05	18	160	8	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	52664.79	15047.08	1.50
11.05	18	160	8.5	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	54992.57	15712.16	1.57
11.05	18	160	9	900	1660	3.5	1.474	8.8	1.0	1.03	2.7	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	57322.10	16377.74	1.64

Según cuadro 4.11. La capacidad de carga admisible, a medida que se profundiza el terreno de fundación en la cimentación donde se desplantará el dique inferior la capacidad de carga admisible aumenta a una razón creciente de 0.71Kg/cm² a una profundidad de nivel de desplante de 2m. Y 1.64Kg/cm² a una profundidad de nivel de desplante 9.0m. Este el nivel donde descansará el dique Inferior.

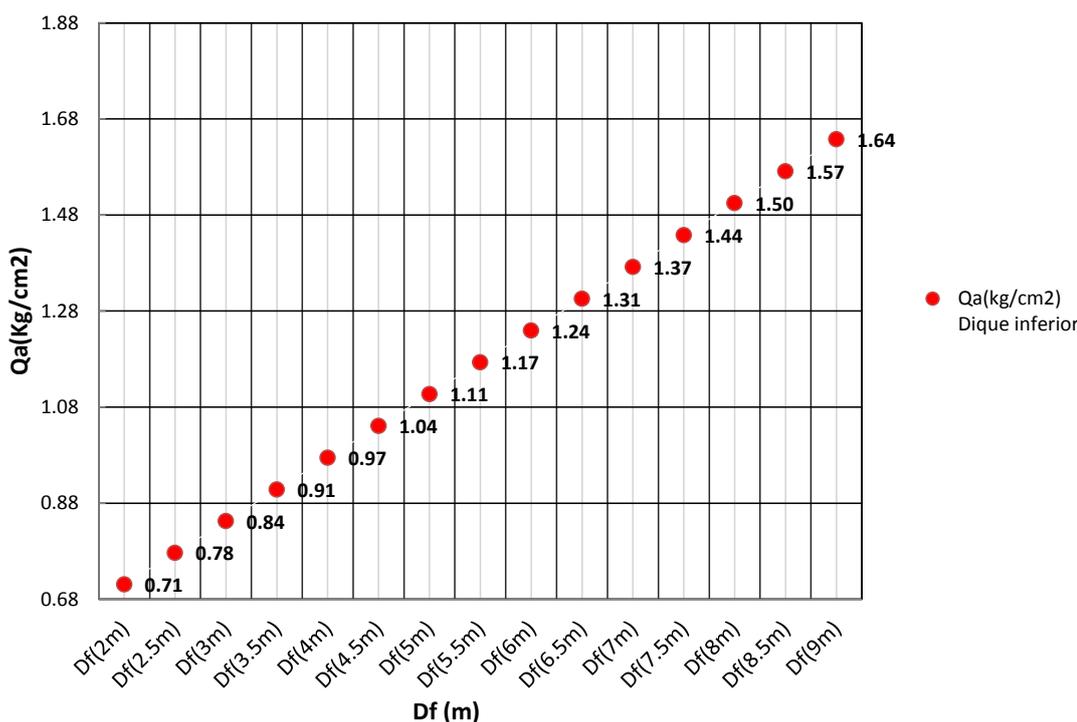


Figura 4.11. Profundidad vs Qa(kg/cm²) del dique inferior.

En la figura 4.11. Muestra las capacidades carga admisible calculado con la ecuación (2.1) y (2.2) planteado por Meyerhof para este tipo de cimentaciones se observa que a medida que el nivel de desplante aumenta la capacidad de carga admisible también aumenta, a una profundidad de 2.0m la capacidad de Qa es de 0.71kg/cm² en el dique superior donde se construirá la presa de tierra, a una profundidad de 4.50m la capacidad de Qa es de 1.04kg/cm², a esta profundidad llega la calicata C-08 realizado en el dique inferior, a una profundidad de 9.0m la capacidad de Qa es de 1.64kg/cm², esta profundidad llega el ensayo de penetración dinámica ligera DPL-01 realizado dentro de la calicata en el dique inferior a esta profundidad se pretende plantear el nivel de desplante de la presa en este dique.

Tabla 4.2. Cargas admisibles medias de diferentes materiales de fundación (Suarez D. 1993).

TERRENO DE FUNDACIÓN SATURADO	CARGAS ADMISIBLES (kg/cm ²)				
	Profundidad de la fundación (m)				
	0	0,5	1	2	3
ROCA (1)					
Masiva, dura (no estratificada)	30	40	50	60	60
Estratificada dura	10	12	16	20	20
SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS DENSOS (2)					
Gravas		3,2	4	5	6,4
Arenas gruesas		2	2,5	3,3	4
Arenas finas		1,4	1,6	2	2,5
SUELOS COHESIVOS					
Arcillosos duros			3,2	3,2	3,2
Arcillosos semiduros			1,6	1,6	1,6
Arcillosos blandos			0,8	0,8	0,8

OBSERVACIONES:
 (1) Los valores que se indican corresponden a rocas poco fisuradas. Para rocas meteorizadas o muy fisuradas se reducirán las cargas admisibles.
 (2) Los valores que se indican corresponden a suelos densos que requieren el uso de pico para su excavación. Para suelos de mediana densidad, en los cuales la pala penetra con dificultad los valores indicados se multiplican por 0,8. Para suelos sueltos, excavables fácilmente con pala, los valores indicados se multiplican por 0,5.

Según Suarez D. J. (1993), la capacidad de carga admisible obtenido en los diques pertenecería a un material arenas finas con arcillas según la tabla anterior.

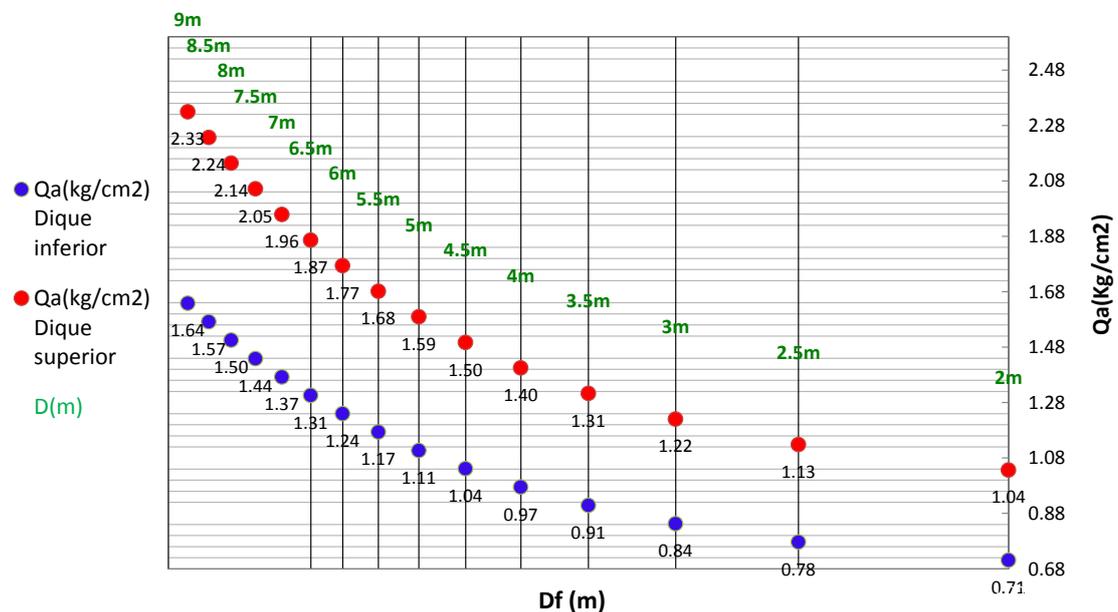


Figura 4.12. Profundidad vs Qa del dique superior e inferior.

Según la figura 4.12. Se muestra que el nivel de desplante en el dique superior en la calicata C-02 llegara a una profundidad de 9.90m mientras que el dique inferior en la C-08 llegara a una profundidad de 9.0m, la capacidad de carga admisible en el dique superior es de 2.50kg/cm², en el

dique inferior la capacidad de carga admisible es de 1.64kg/cm^2 en ambos casos esta cargas son en el nivel del terreno de fundación donde se construirá o descansara el dique superior e inferior respectivamente.

En el dique superior

Según la figura 4.12. A una profundidad de 3.5m la capacidad de carga admisible es de 1.31kg/cm^2 , a una profundidad de 4.50m la capacidad de carga admisible es de 1.50kg/cm^2 , a una profundidad de 5.50m la capacidad de carga admisible es de 1.68kg/cm^2 , a una profundidad de 6.50m la capacidad de carga admisible es de 1.87kg/cm^2 , a una profundidad de 7.50m la capacidad de carga admisible es de 2.24kg/cm^2 , a una profundidad de 8.50m la capacidad de carga admisible es de 2.24kg/cm^2 , a una profundidad de 9.50m la capacidad de carga admisible es de 2.42kg/cm^2 y a una profundidad de 9.90m la capacidad de carga admisible llega a 2.50kg/cm^2 según el cuadro 4.9.

En el dique inferior

Según la figura 4.12. A una profundidad de 3.5m la capacidad de carga admisible es de 0.91kg/cm^2 , a una profundidad de 4.50m la capacidad de carga admisible es de 10.04kg/cm^2 , a una profundidad de 5.50m la capacidad de carga admisible es de 1.17kg/cm^2 , a una profundidad de 6.50m la capacidad de carga admisible es de 1.31kg/cm^2 , a una profundidad de 7.50m la capacidad de carga admisible es de 1.44kg/cm^2 , a una profundidad de 8.50m la capacidad de carga admisible es de 1.57kg/cm^2 , a una profundidad de 9.00m la capacidad de carga admisible es de 1.64kg/cm^2 según el cuadro 4.11.

Como se observa la capacidad de carga admisible en el dique superior es superior a la capacidad de carga admisible en el dique inferior.

4.5. ANALISIS DE INFILTRACION ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN SITU

Se realizaron ensayos de permeabilidad en el vaso y en las calicatas del dique superior e inferior, en situ.



Figura 4.13. Ensayo de infiltrómetro en el vaso.



Figura 4.14. Ensayo de permeabilidad en calicatas.

4.5.1. ENSAYOS EN SONDEOS INFILTRÓMETROS

Para calcular la permeabilidad se ha utilizado la ecuación (2.7):

$$k = \frac{R}{2*(t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2*h_1 + R}{2*h_2 + R}\right)$$

Dónde:

k = Coeficiente de permeabilidad en (cm/s)

R = Radio del infiltrómetro (m)

t_2, t_1 = Tiempos iniciales y tiempo final (s)

h_2, h_1 = Altura inicial y final de descenso (m)

Datos:

$$k = (\text{Cm/s})=?$$

$$R = 0.40 \text{ m}$$

$$t_1 = 7:55 \text{ a.m.}$$

$$t_2 = 9:21 \text{ a.m.}$$

$$\Delta t = 1.43 \text{ horas transcurridos total } 5160 \text{ s}$$

$$h_2 = 69 \text{ cm}$$

$$h_1 = 70 \text{ cm}$$

Entonces:

$$k = \frac{R}{2 * (\Delta t)} * \ln\left(\frac{2 * h_1 + R}{2 * h_2 + R}\right)$$

$$K = 4.33 * 10^{-5} \text{ cm/seg.}$$

Según Suarez D. J. (1993), la permeabilidad calculado en el vaso del embalse pertenece a un suelo Arenas limo arcillosas según el Tabla 2.4. y Tabla 2.5.

Cuadro 4.12. Ubicación de pozos para el ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro.

N°	DESCRIPCION	MARGEN	TIPO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD (cm/s)
1	P-01	DIQUE INFERIOR	INFILTROMETRO	$4.33 * 10^{-5}$
2	P-02	DIQUE INFERIOR	INFILTROMETRO	$8.58 * 10^{-5}$
3	P-03	DIQUE INFERIOR	INFILTROMETRO	$5.85 * 10^{-5}$
4	P-04	EMBALSE DERECHO	INFILTROMETRO	$3.06 * 10^{-5}$
5	P-05	EMBALSE IZQUIERDO	INFILTROMETRO	$1.25 * 10^{-4}$
6	P-06	EMBALSE DERECHO	INFILTROMETRO	$1.81 * 10^{-5}$
7	P-07	DIQUE SUPERIOR	INFILTROMETRO	$1.67 * 10^{-4}$
8	P-08	DIQUE SUPERIOR	INFILTROMETRO	$1.35 * 10^{-4}$
9	P-09	DIQUE SUPERIOR	INFILTROMETRO	$5.14 * 10^{-5}$

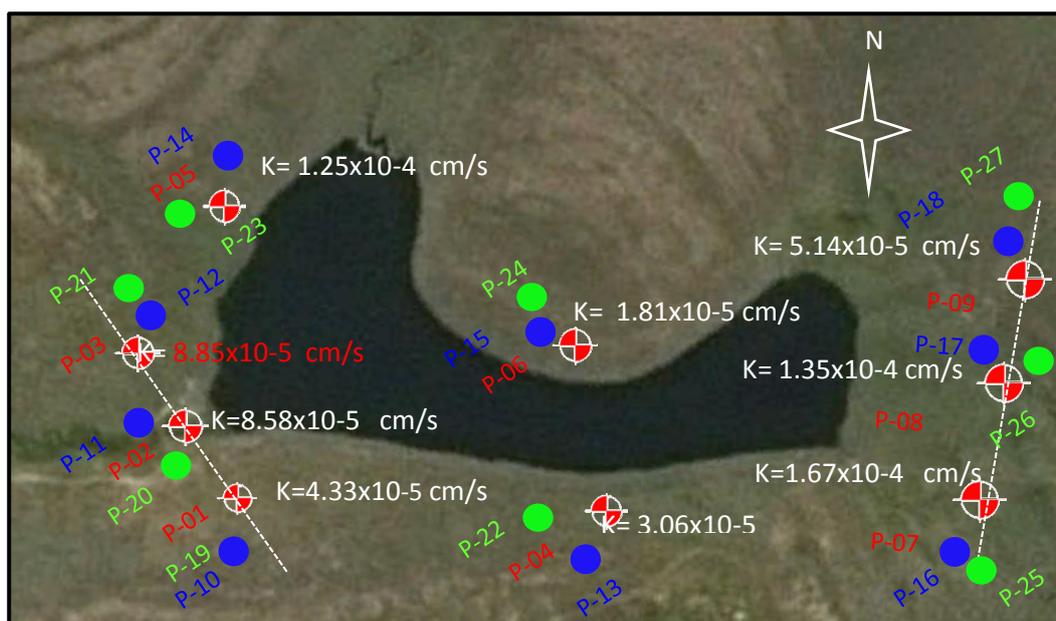
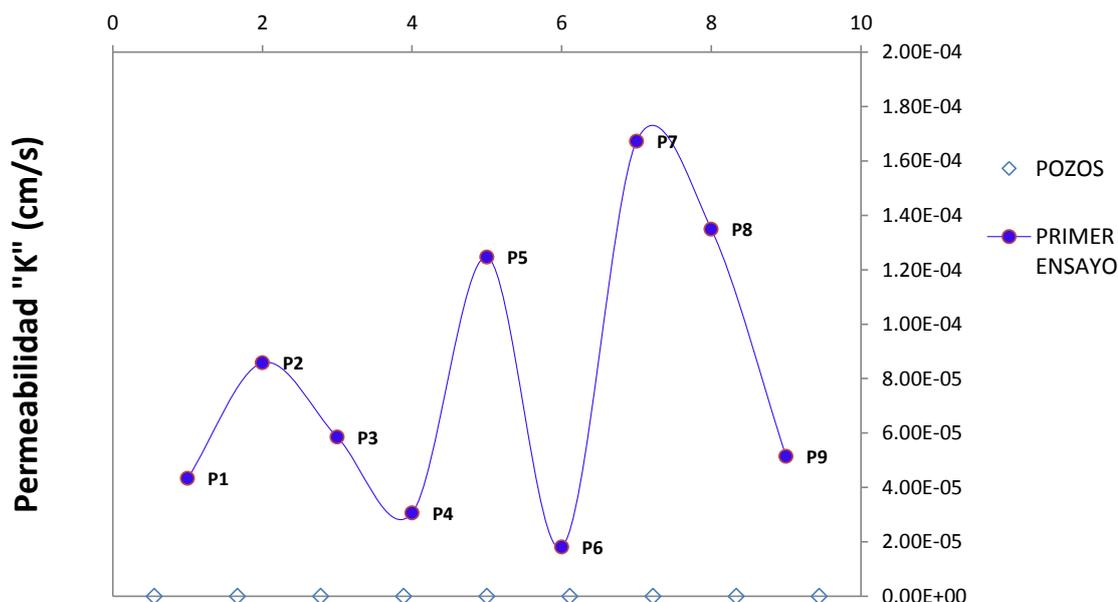


Figura 4.15. Ubicación de pozos para el ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro.

Cuadro 4.13. Resultados para el ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro primer ensayo..

N°	DESCRIPCION	R(cm)	t1(inicial)	t2(final)	Δt(s)	h1(cm)	h2(cm)	k(cm/s)
1	P-01	40	07:55	09:21	5160.00	70.00	69.00	4.33*10-5
2	P-02	40	07:59	11:41	13320.00	70.00	65.00	8.58*10-5
3	P-03	40	08:21	12:40	15540.00	70.00	66.00	5.85*10-5
4	P-04	40	09:10	13:15	14700.00	70.00	68.00	3.06*10-5
5	P-05	40	09:21	13:30	14940.00	70.00	62.00	1.25*10-4
6	P-06	40	10:14	13:40	12360.00	70.00	69.00	1.81*10-5
7	P-07	40	11:20	14:50	12600.00	70.00	61.00	1.67*10-4
8	P-08	40	11:35	14:55	12000.00	70.00	63.00	1.35*10-4
9	P-09	40	11:45	15:25	13200.00	70.00	67.00	5.14*10-5



Pozos de inspección

Figura 4.16. Diagrama del primer ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro.

Según la figura 4.16. el primer ensayo en situ mediante el método de infiltrómetro, en los pozos, P-02, P-05 y P-07 se tiene una permeabilidad media mientras que los pozos de P-01, P-04, P-06 y P-09 presenta una permeabilidad baja, estos pozos se ha realizado a una profundidad de sondeo de 0.70m y un diámetro de sondeo de 0.40n según Cuadro 4.13.

Cuadro 4.14. Resultados para el ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro segundo ensayo.

N°	DESCRIPCION	R(cm)	t1(inicial)	t2(final)	Δt(s)	h1(cm)	h2(cm)	k(cm/s)
1	P-10	40	07:55	09:21	5160.00	100.00	95.00	7.20*10-5
2	P-11	40	07:59	11:41	13320.00	100.00	99.00	8.90*10-5
3	P-12	40	08:21	12:40	15540.00	100.00	97.00	4.50*10-5
4	P-13	40	09:10	13:15	14700.00	100.00	80.00	2.10*10-5
5	P-14	40	09:21	13:30	14940.00	100.00	92.00	2.60*10-4
6	P-15	40	10:14	13:40	12360.00	100.00	96.00	4.50*10-5
7	P-16	40	11:20	14:50	12600.00	100.00	99.00	4.50*10-5
8	P-17	40	11:35	14:55	12000.00	100.00	69.00	7.50*10-5
9	P-18	40	11:45	15:25	13200.00	100.00	85.00	3.20*10-5

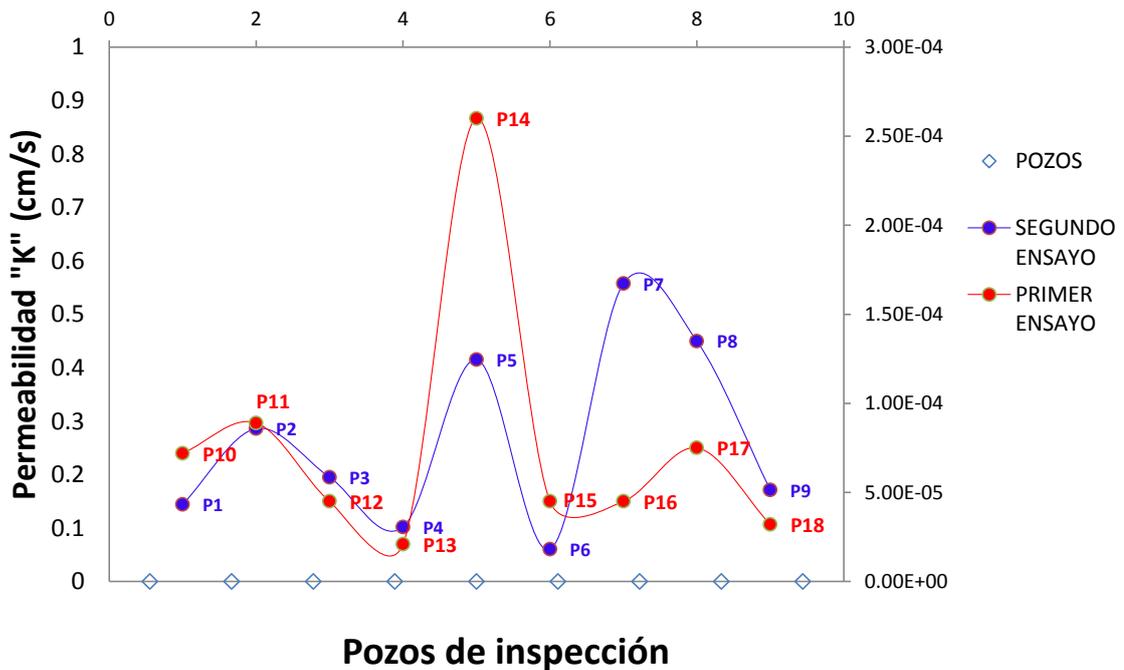


Figura 4.17. Diagrama del primer y segundo ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro.

Según la figura 4.17. Muestra el primer y segundo ensayo en los pozos de sondeo P-14, P-07, P-05 y P-08 es de permeabilidad media estos resultados no son favorables para la construcción del dique en la presa de tierra, en los pozos de sondeo P-13, P-06, P-04 y P-018 es de permeabilidad baja estos resultados son favorables para la construcción del dique en la presa de tierra.

Cuadro 4.15. Resultados para el ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro tercer ensayo.

N°	DESCRIPCION	R(cm)	t1(inicial)	t2(final)	$\Delta t(s)$	h1(cm)	h2(cm)	k(cm/s)
1	P-19	40	07:55	09:21	5160.00	150.00	145.00	2.40*10-5
2	P-20	40	07:59	11:41	13320.00	150.00	135.00	8.90*10-5
3	P-21	40	08:21	12:40	15540.00	150.00	148.00	3.50*10-5
4	P-22	40	09:10	13:15	14700.00	150.00	142.00	2.10*10-5
5	P-23	40	09:21	13:30	14940.00	150.00	138.00	1.40*10-4
6	P-24	40	10:14	13:40	12360.00	150.00	125.00	4.50*10-5
7	P-25	40	11:20	14:50	12600.00	150.00	145.00	4.50*10-5
8	P-26	40	11:35	14:55	12000.00	150.00	149.00	3.60*10-5
9	P-27	40	11:45	15:25	13200.00	150.00	123.00	7.80*10-5

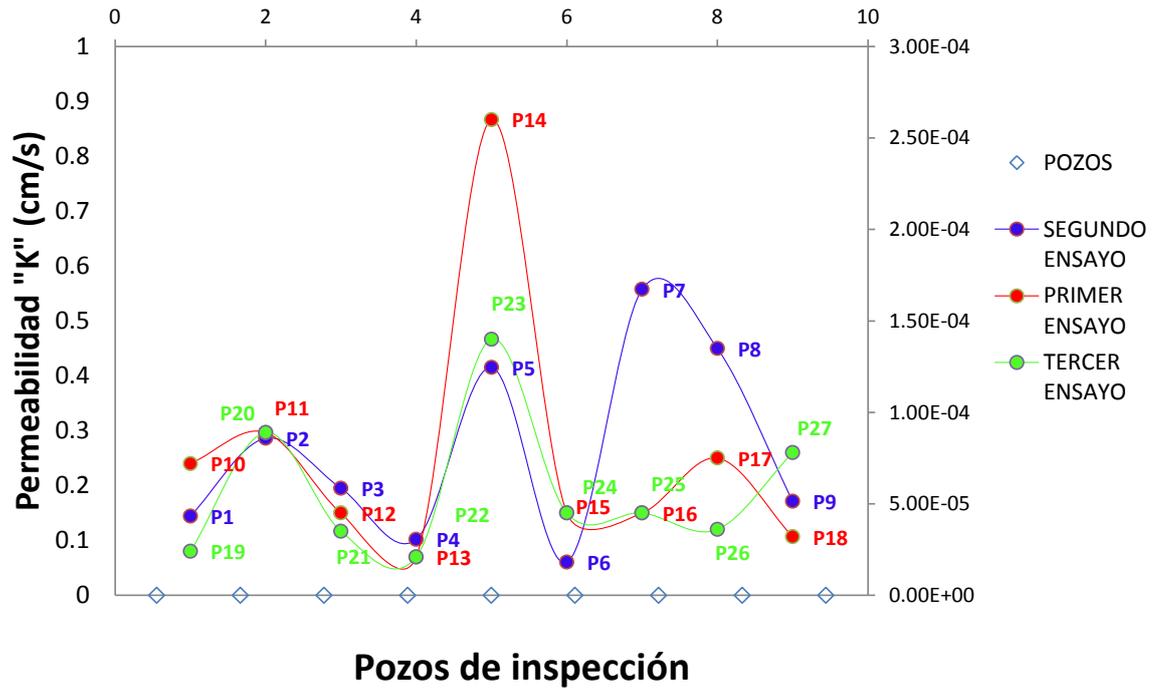


Figura 4.18. Diagrama del primer, segundo y tercer ensayo de permeabilidad por el método del infiltrómetro.

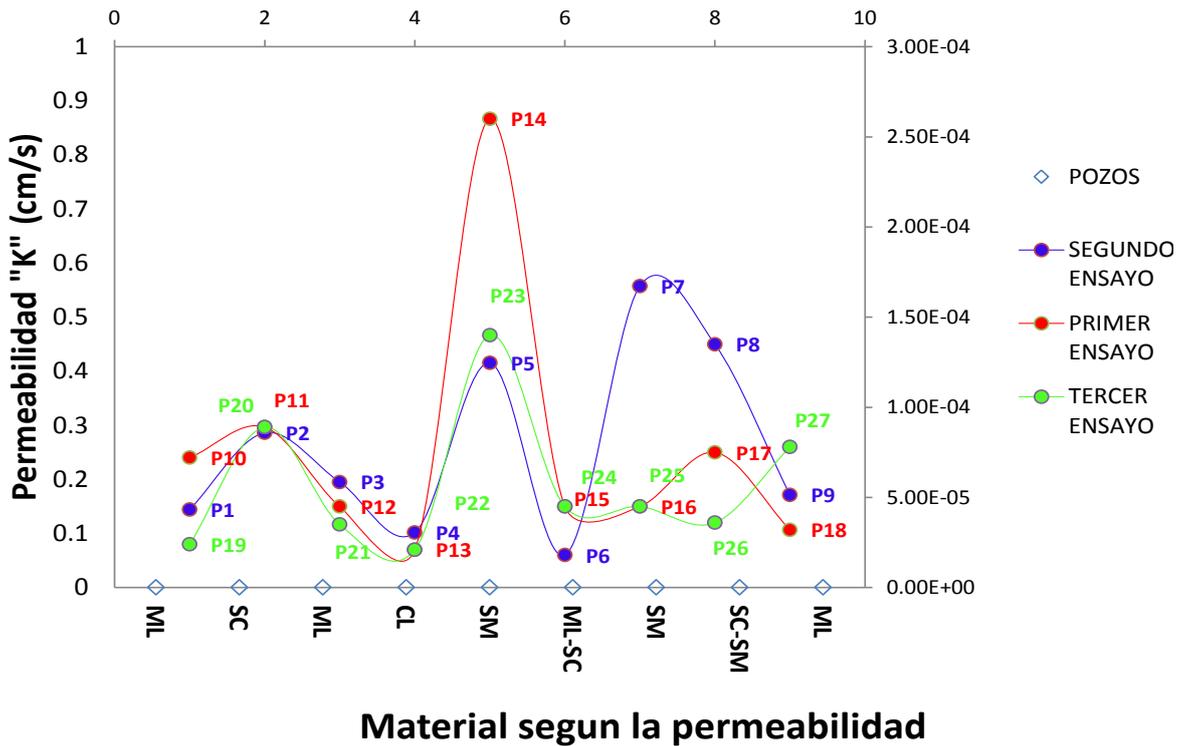


Figura 4.19. Diagrama del material predominante de acuerdo a la permeabilidad.

Cuadro 4.16. Resultados de pruebas de infiltrómetro primer ensayo.

N°	SONDEO POZO	PROF(m)	OBS.	k(cm/s)	TIPO DE MATERIAL
1	P-01	0.70	ML	4.33*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
2	P-02	0.70	SC	8.58*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
3	P-03	0.70	ML	5.85*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
4	P-04	0.70	CL	3.06*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
5	P-05	0.70	SM	1.25*10 ⁻⁴	Permeabilidad media
6	P-06	0.70	ML-SC	1.81*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
7	P-07	0.70	SM	1.67*10 ⁻⁴	Permeabilidad Baja
8	P-08	0.70	SC-SM	1.35*10 ⁻⁴	Permeabilidad Media
9	P-09	0.70	ML	5.14*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja

Cuadro 4.17. Resultados de pruebas de infiltrómetro segundo ensayo.

N°	SONDEO POZO	PROF(m)	OBS.	k(cm/s)	TIPO DE MATERIAL
1	P-10	1.00	ML	7.20*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
2	P-11	1.00	SC	8.90*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
3	P-12	1.00	ML	4.50*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
4	P-13	1.00	CL	2.10*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
5	P-14	1.00	SM	2.60*10 ⁻⁴	Permeabilidad media
6	P-15	1.00	ML-SC	4.50*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
7	P-16	1.00	SM	4.50*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
8	P-17	1.00	SC-SM	7.50*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
9	P-18	1.00	ML	3.20*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja

Cuadro 4.18. Resultados de pruebas de infiltrómetro tercer ensayo.

N°	SONDEO POZO	PROF(m)	OBS.	k(cm/s)	TIPO DE MATERIAL
1	P-19	1.50	ML	2.40*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
2	P-20	1.50	SC	8.90*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
3	P-21	1.50	ML	3.50*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
4	P-22	1.50	CL	2.10*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
5	P-23	1.50	SM	1.40*10 ⁻⁴	Permeabilidad media
6	P-24	1.50	ML-SC	4.50*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
7	P-25	1.50	SM	4.50*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
8	P-26	1.50	SC-SM	3.60*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja
9	P-27	1.50	ML	7.80*10 ⁻⁵	Permeabilidad Baja

Según la figura 4.19 muestra cómo influye el tipo suelo en los pozos de sondeo P-01, P-010 y P-019 es de permeabilidad baja pertenece a un suelo limo de plasticidad con intercalaciones de roca triturada bien fina ML, estos pozos de sondeo se han realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

En los pozos de sondeo P-02, P-011 y P-20, es de permeabilidad baja pertenece a un suelo de arena arcillosa limosa de baja plasticidad con

intercalaciones de roca triturada bien fina SC, estos pozos de sondeo se han realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

.En los pozos de sondeo P-03, P-012 y P-21, es de permeabilidad baja pertenece a un suelo de limo inorgánica de baja plasticidad con intercalaciones de arcilla de coloración amarillenta a parduzca bien fina ML, este pozo de sondeo se ha realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

En los pozos de sondeo P-04, P-013 y P-22, pertenece a una permeabilidad baja es típico de un tipo de arcilla inorgánica de baja plasticidad de coloración blanquesina a parduzca bien fina CL, estos pozos de sondeo se han realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

Según la figura 4.19, muestra cómo influye el tipo suelo en los pozos de sondeo P-05, P-014 y P-023 es de permeabilidad baja a media pertenece a un suelo arena limosa con intercalaciones de roca triturada bien fina SM.

En los pozos de sondeo P-06, P-015 y P-24, según la Figura 4.19. es de permeabilidad baja pertenece a un suelo de limo inorgánica de baja plasticidad con intercalaciones de arena arcillosa de coloración amarillenta a parduzca bien fina ML-SC, estos pozos de sondeo se han realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

En los pozos de sondeo P-07, P-016 y P-25, según la Figura 4.19. es de permeabilidad baja pertenece a un suelo de arena arcillosa con intercalaciones de limo inorgánica de baja plasticidad de coloración amarillenta a blanquesina bien fina SM, estos pozos de sondeo se han realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

En los pozos de sondeo P-08, P-017 y P-26, según la Figura 4.19. Es de permeabilidad baja a media y pertenece a un suelo de arena arcillosa con intercalaciones de arena limosa de coloración blanquecina bien fina SC-SM, estos pozos de sondeo se han realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

En los pozos de sondeo P-09, P-018 y P-27, según la Figura 4.19. Es de permeabilidad baja y pertenece a un suelo de limo de inorgánica de baja plasticidad ML, estos pozos de sondeo se han realizado a una profundidad de 0.7m, 1.00m y 1.50m respectivamente, según cuadros 4.16, 4.17 y 4.18.

4.5.2. ENSAYOS PERMEABILIDAD EN CALICATAS

Según Luthin (1966), en el caso que la perforación atraviese sólo parcialmente la napa, el coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación (2.8) y (2.9):

$$K = \frac{R \cdot S}{2 \cdot H + R} * \frac{\ln\left(\frac{h1}{h2}\right)}{(t1 - t2)}$$

Donde S:

$$s = R * H / 0.19)$$

Dónde:

K = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

R = Radio de la calicata (m)

$h1$ = Altura final (m)

$h2$ = Altura inicial (m)

$t1$ = Tiempo inicial(s)

$t2$ = Tiempo final (s)

$t2$ = Profundidad de la calicata (m)

Z = Profundidad al nivel del estrato impermeable (m)

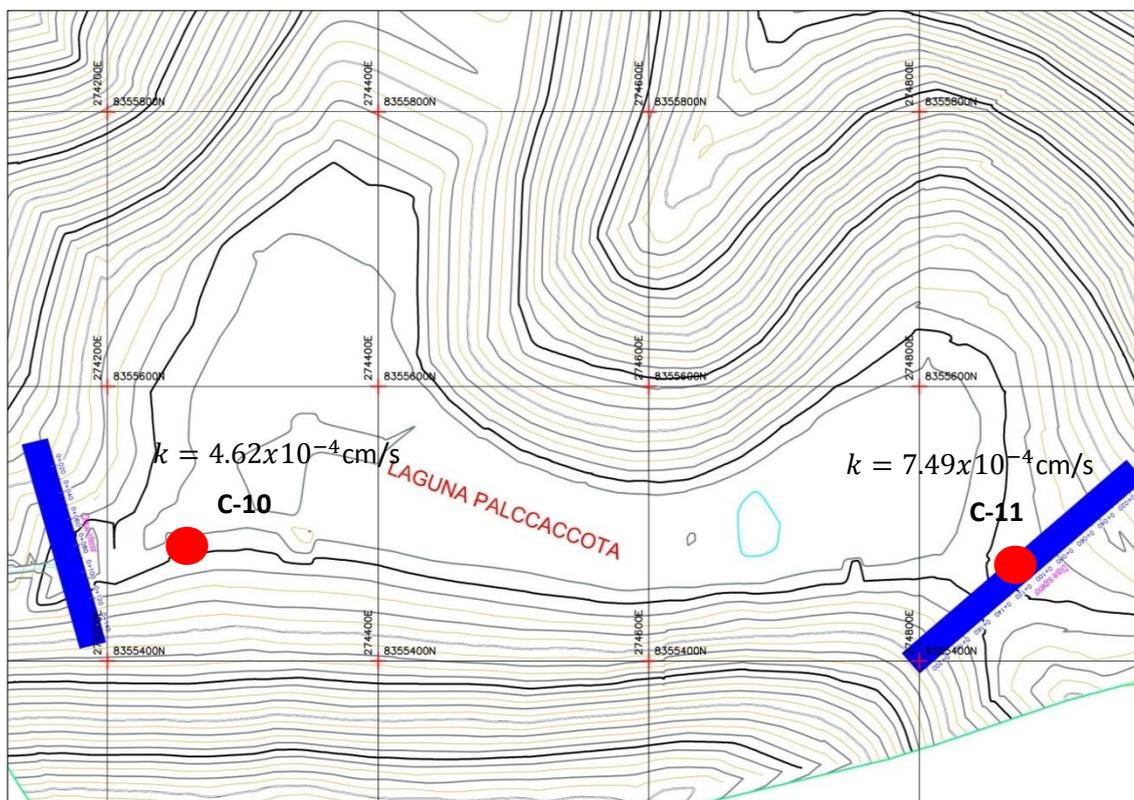


Figura 4.20. Ubicación de calicatas C-10, C-11 donde se determinó el coeficiente de “K”.

Cuadro 4.19. Resultados de pruebas de permeabilidad en calicata C-10.

N°	DESCRIPCION	UBICACION	R(m)	t1(inicial)	t2(final)	Δt(s)	H(m)	h1(m)	h2(m)	k(cm/s)
1	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	07:40	600.00	1.00	0.90	0.05	5.80E-03
2	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	07:50	1200.00	1.00	0.90	0.02	3.82E-03
3	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	08:00	1800.00	1.00	0.90	0.05	1.93E-03
4	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	08:10	2400.00	1.00	0.90	0.06	1.36E-03
5	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	08:20	3000.00	1.00	0.90	0.05	1.16E-03
6	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	08:30	3600.00	1.00	0.90	0.05	9.66E-04
7	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	08:40	4200.00	1.00	0.90	0.08	6.93E-04
8	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	08:50	4800.00	1.00	0.90	0.08	6.07E-04
9	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	09:00	5400.00	1.00	0.90	0.08	5.39E-04
10	C-10	Dique Inferior	0.8	07:30	09:10	6000.00	1.00	0.90	0.09	4.62E-04

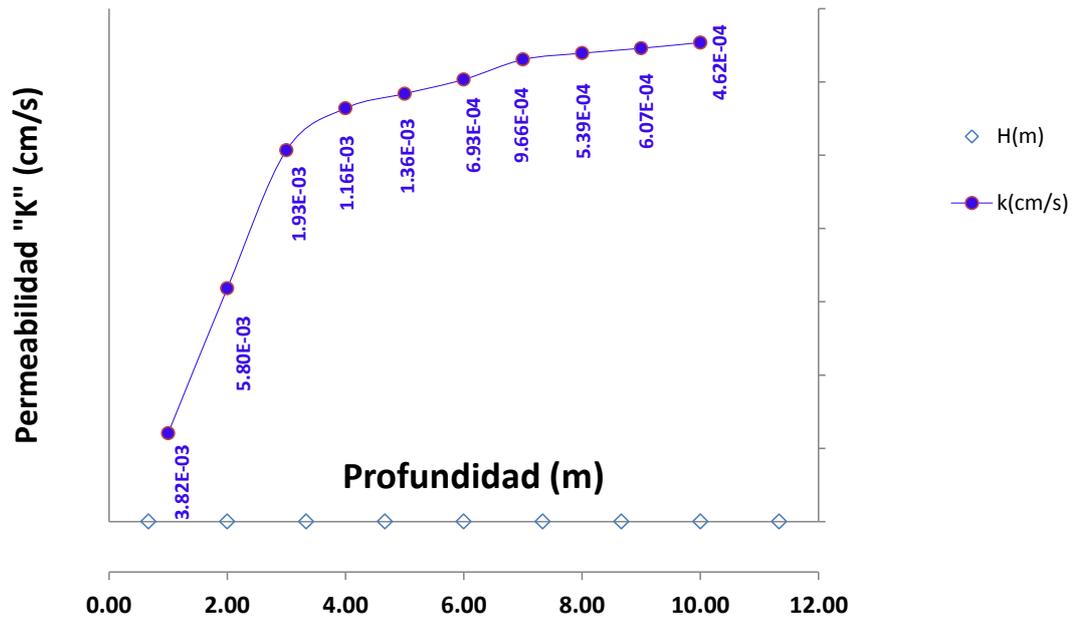


Figura 4.21. Diagrama del ensayo de permeabilidad en C-10 dique inferior.

Según la figura 4.21. Muestra el diagrama donde se ha realizado el ensayo de permeabilidad en la calicata C-10 según el cuadro 4.19. Corresponde a una permeabilidad media a baja estos resultados son regularmente favorables para la construcción del dique en la presa de tierra.

Cuadro 4.20. Resultados de pruebas de permeabilidad en calicata C-11.

N°	DESCRIPCION	UBICACION	R(m)	t1(inicial)	t2(final)	Δt(s)	H(m)	h1(m)	h2(m)	k(cm/s)
1	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	07:40	600.00	1.20	0.90	0.02	1.18E-02
2	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	07:50	1200.00	1.20	0.90	0.04	4.82E-03
3	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	08:00	1800.00	1.20	0.90	0.05	2.98E-03
4	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	08:10	2400.00	1.20	0.90	0.08	1.87E-03
5	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	08:20	3000.00	1.20	0.90	0.03	2.22E-03
6	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	08:30	3600.00	1.20	0.90	0.05	1.49E-03
7	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	08:40	4200.00	1.20	0.90	0.03	1.50E-03
8	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	08:50	4800.00	1.20	0.90	0.06	1.05E-03
9	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	09:00	5400.00	1.20	0.90	0.04	1.07E-03
10	C-11	Dique Inferior	1.00	07:30	09:10	6000.00	1.20	0.90	0.08	7.49E-04

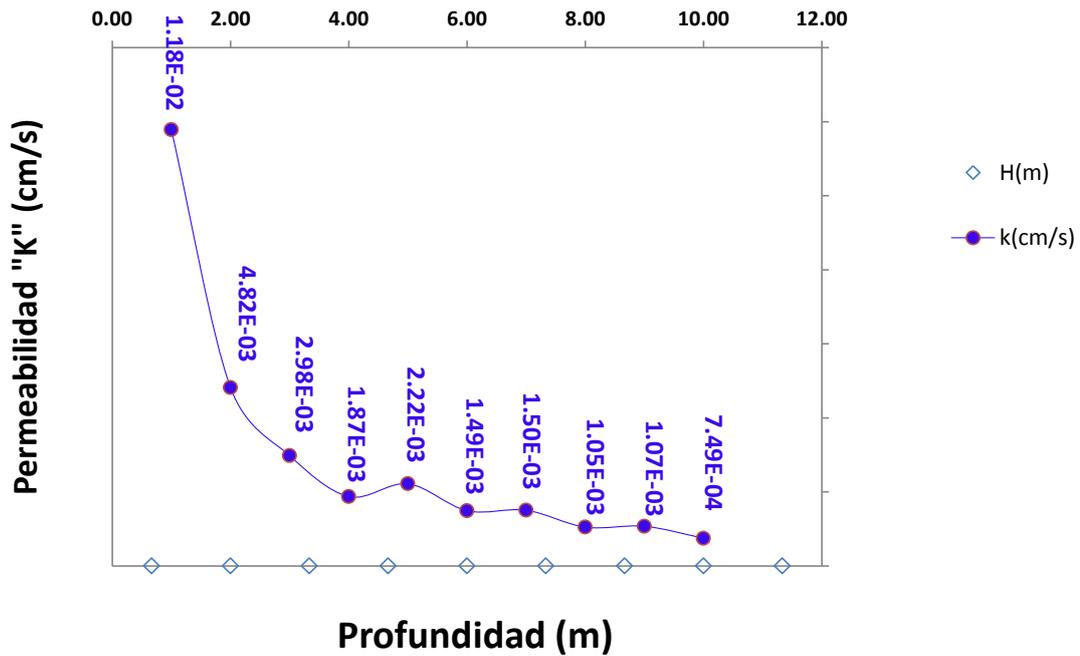


Figura 4.22. Diagrama del ensayo de permeabilidad en C-11 dique superior.

Según la figura 4.22. Muestra el diagrama donde se ha realizado el ensayo de permeabilidad en la calicata C-11 según el cuadro 4.20. Corresponde a una permeabilidad baja a media estos resultados son regularmente favorables para la construcción del dique en la presa de tierra.

4.6. DESCRIPCION DE PERFILES ESTRATIGRAFICOS

El estudio de mecánica de suelos con fines de cimentaciones, a fin evaluar el terreno de fundación que sea adecuada que refleje a la realidad a la zona, se ha visto por conveniente realizar y aperturar las calicatas para descripción litológicas del perfil estratigráficos, y así mismo determinando zonas rocosas e identificando zonas críticas que pudiera presentarse en el proceso constructivo, se realizaron tomas de muestras para el ensayo correspondiente en laboratorio de Mecánica de suelos.

La secuencia del perfil estratigráfico se observa que las características de los suelos de fundación son limos, arcillas, arena y material granular, todo esto corresponde material reciente cuaternario. La caracterización geotécnica es dar

a conocer las condiciones geotécnicas generales del área de estudio para el aprovechamiento del recurso hídrico.

A continuación se describen los perfiles estratigráficos de las calicatas realizadas en el dique superior las calicatas C-01, C-02 y C-03, en la calicata C-07, C-08 y C-09 y en el embalse las calicatas C-04, C-05 y C-06.

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-01 DIQUE SUPERIOR						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
0.0	0.1		Arena limosa con intercalaciones de material cuaternario	SC	A-2-4(0)	1.30
0.2						
0.3						
0.4						
0.5						
0.6						
0.7						
0.8						
0.9						
1.0						
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
1.5						

Figura 4.23. Perfil estratigráfico de la calicata C-01.

Según la figura 4.23 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-01 del dique superior, correspondiente a una profundidad de 1.50m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.30m según la descripción obtenida corresponde a un material de SC según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-2-4(0) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASHTO).

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-02 DIQUE SUPERIOR						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
	0.0	[Pattern: small circles]	Material cuaternario	pt		
	0.1					
	0.2	[Pattern: diagonal lines]	Arena arcillosa a limosa con intercalaciones de material cuaternario	SC-ML		
	0.3					
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2					
	1.3					
	1.4					
	1.5					
	1.6					
	1.7					
	1.8					
	1.9					
	2.0					
	2.1	[Pattern: dense dots]	Arena limosa con presencia de arcilla de baja plasticidad	SC	A-2-7(1)	1.70
	2.2					
	2.3					
	2.4					
	2.5					
	2.6					
	2.7					
	2.8					
	2.9					
	3.0					
	3.1					
	3.2					
	3.3					
	3.4					
	3.5					
	3.6					
	3.7					
	3.8					
	3.9					
	4.0	[Pattern: diagonal lines]	Arena arcillosa bien compacto con presencia de limo intercalaciones de roca triturada bien fina.			
	4.1					
	4.2					
	4.3					
	4.4					
	4.5					

Figura 4.24. Perfil estratigráfico de la calicata C-02.

Según la figura 4.24 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-02 del dique superior, correspondiente a una profundidad de 4.50m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.70m según la descripción obtenida corresponde a un material de SC, SC-ML y Pt descripción de forma ascendiente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de

Clasificación de Suelos (SUSC), A-2-7(1) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASTHO).

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-03 DIQUE SUPERIOR						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
	0.0		Material cuaternario pt	pt	A-2-4(0)	1.10
	0.1					
	0.2					
	0.3		Arena limosa con intercalaciones de arena arcillosa y ipresencia de materrial cuaternario	SM-SC	A-2-4(0)	1.10
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2					
	1.3					
	1.4					
	1.5					

Figura 4.25. Perfil estratigráfico de la calicata C-03.

Según la figura 4.25 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-03 del dique superior, correspondiente a una profundidad de 1.50m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.10m según la descripción obtenida corresponde a un material de SM-SC y Pt descripción de forma ascendiente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-2-4(0) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASTHO).

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-04 MARGEN DERECHO EMBALSE						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
	0.0		Material cuaternario pt	pt	A-4(1)	1.40
	0.1					
	0.2		Arena arcillosa con limo y con intercalaciones de arena y presencia de material cuaternario	SC	A-4(1)	1.40
	0.3					
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2					
	1.3					
	1.4					
	1.5					

Figura 4.26. Perfil estratigráfico de la calicata C-04.

Según la figura 4.26 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-04 del margen derecho del embalse donde se almacenará agua, correspondiente a una profundidad de 1.50m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.40m según la descripción obtenida corresponde a un material de SC y Pt descripción tomada de forma ascendiente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-4(1) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASHTO).

Según la figura 4.27 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-05 del margen izquierdo del embalse donde se almacenará agua, correspondiente a una profundidad de 1.50m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.20m según la descripción obtenida corresponde a un material de ML y Pt descripción tomada de forma ascendiente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-4(5) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASHTO).

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-05 MARGEN IZQUIERDO EMBALSE						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
	0.0		Material cuaternario pt	pt	A-4(5)	1.20
	0.1					
	0.2		Arena arcillosa con limo y con intercalaciones de arena y presencia de material cuaternario	ML		
	0.3					
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2					
	1.3					
	1.4					
1.5						

Figura 4.27. Perfil estratigráfico de la calicata C-05.

Según la figura 4.28 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-06 del margen derecho del embalse donde se almacenará agua, correspondiente a una profundidad de 0.80m, con un N.F. que no se encontró según la descripción obtenida corresponde a un material de ML y Pt descripción tomada de forma ascendente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-4(5) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASHTO).

Según la figura 4.29 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-07 del dique inferior, correspondiente a una profundidad de 1.20m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.00m según la descripción obtenida corresponde a un material de SM y Pt descripción tomada de forma ascendente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-4(0) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASHTO).

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-06 MARGEN DERECHO EMBALSE						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
	0.0		Material cuaternario pt	pt	A-4(5)	0.00
	0.1					
	0.2		Limo de baja plasticidad con intercalaciones de arena y presencia de material cuaternario, Arena arcillosa con	ML		
	0.3					
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2					
1.3						

Figura 4.28. Perfil estratigráfico de la calicata C-06.

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-07 DIQUE INFERIOR						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
	0.0		Material cuaternario pt	pt	A-4(0)	1.00
	0.1					
	0.2		Arena limosa con baja plasticidad con intercalaciones de arena y presencia de material cuaternario.	SM		
	0.3					
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2					

Figura 4.29. Perfil estratigráfico de la calicata C-07

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO C-08 DIQUE INFERIOR						
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	CLASIFICACION (SUCS)	CLASIFICACION (AASHTO)	NIVEL FREATICO(m)
	0.0		Material cuaternario	pt		1.20
	0.1					
	0.2		Arena arcillosa a limosa con intercalaciones de material cuaternario	ML-SC		
	0.3					
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2	▼				
	1.3		Arena limosa con presencia de arcilla de baja plasticidad	ML	A-7-6(9)	
	1.4					
	1.5					
	1.6					
	1.7					
	1.8					
	1.9					
	2.0					
	2.1					
	2.2					
	2.3					
	2.4					
2.5						
2.6						
2.7						
2.8						
2.9						
3.0						
3.1						
3.2						
3.3						
3.4						
3.5						
3.6						
3.7						
3.8						
3.9						
4.0						
4.1		Limo de baja plasticidad con intercalaciones arcilla y de roca triturada bien fina.				
4.2						
4.3						
4.4						
4.5						

Figura 4.30. Perfil estratigráfico de la calicata C-08.

Según la figura 4.30 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-08 del dique inferior, correspondiente a una profundidad de 4.50m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.20m según la descripción obtenida corresponde a un material de ML, ML-SC y Pt descripción tomada de forma

ascendiente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-7-6(9) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASTHO).

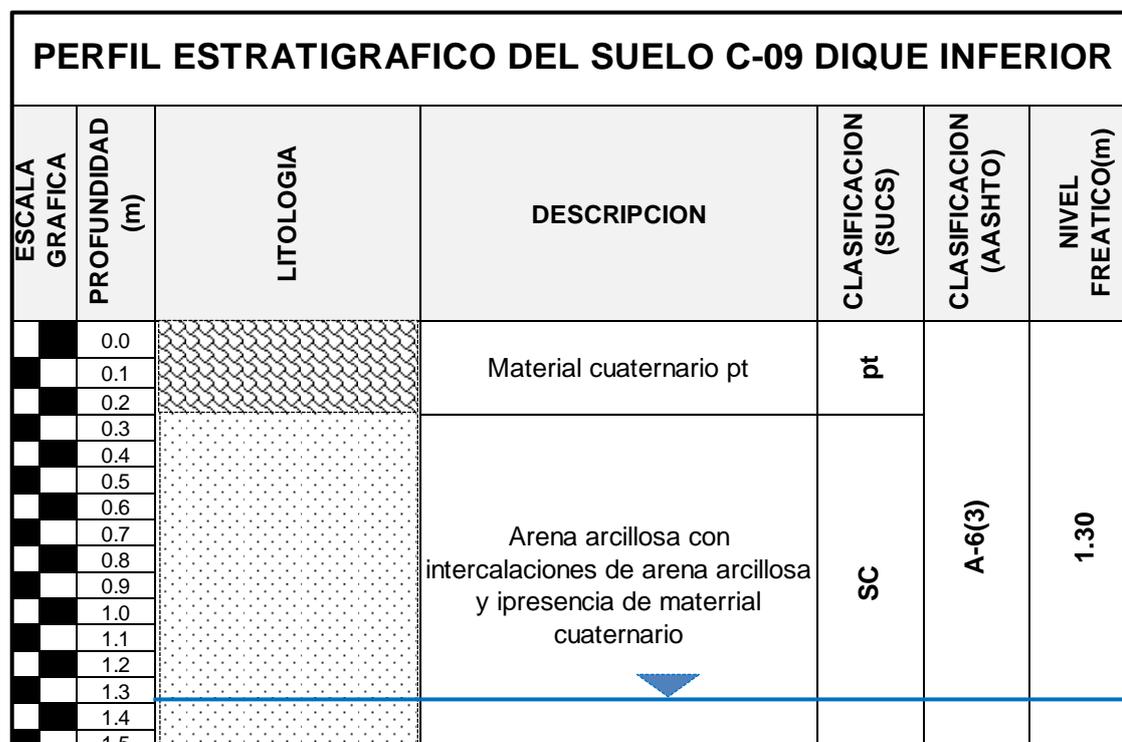


Figura 4.31. Perfil estratigráfico de la calicata C-09.

Según la figura 4.31 se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-09 del dique inferior, correspondiente a una profundidad de 1.50m, con un N.F. que se encontró a una profundidad de 1.30m según la descripción obtenida corresponde a un material de SC y Pt descripción tomada de forma ascendiente de lo más antiguo a lo más reciente, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), A-6(3) según Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportación (AASTHO).

4.7. DESCRIPCION DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DEL TIPO LIGERO

Para determinar las características de resistencia de los suelos se ejecutaron un total de dos (06) sondajes DPL, (norma DIN-4094), convenientemente ubicadas dentro del área de estudio con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas, los parámetros resultantes nos permitió correlacionar con la

densidad relativa de las muestras en anillos con el fin de determinarlos pesos volumétricos y su posterior remoldeo de los mismos. Los sondajes de DPL nos han permitido realizar las investigaciones hasta una profundidad de 4.50m. En el dique Inferior y 4.50m en el dique superior, Los registros efectuados en cada una de los sondajes DPL el procedimiento se detalla según cuadro 4.21 y cuadro 4.22.

Trabajo de Campo: (Procedimiento) se excavó 6 calicatas en total; una vez excavadas dichas profundidades se colocó el aparato de D.P.L. Luego se procedió a realizar el ensayo contabilizando el número de golpes obtenidos por cada 10 cm. de penetración al suelo hasta que se ha producido rechazo del aparato y para ubicar a que profundidad se encontraba el basamento.



Figura 4.32. Proceso de penetración con DPL en la calicata C-08.

Después de haber realizado las calicatas correspondientes manualmente o con maquinaria sobre estas calicatas se ha realizado el ensayo de Penetración Dinámica del Tipo Ligero (DPL), la cual es como se menciona en la calicata C-08, corresponde el DPL-01 con un rechazo a una profundidad de 4.50m total profundidad de sondeo es de 9m.

Según los cuadros 4.21 y cuadro 4.20. La calicata C-07, corresponde el DPL-02 con un rechazo a una profundidad de 4.20m total profundidad de sondeo es de 5.40m.

Según los cuadros 4.21 y cuadro 4.22. La calicata C-09, corresponde el DPL-03 con un rechazo a una profundidad de 4.10m total profundidad de sondeo es de 5.60m.

Según los cuadros 4.21 y cuadro 4.22. La calicata C-01, corresponde el DPL-04 con un rechazo a una profundidad de 4.60m total profundidad de sondeo es de 6.10m.

Según los cuadros 4.21 y cuadro 4.22. La calicata C-02, corresponde el DPL-05 con un rechazo a una profundidad de 5.40m total profundidad de sondeo es de 9.90m.

Según los cuadros 4.21 y cuadro 4.22. La calicata C-03, corresponde el DPL-06 con un rechazo a una profundidad de 4.00m total profundidad de sondeo es de 5.50m. En las calicatas C-04, C-05 y C-06 no corresponde este ensayo de Penetración Dinámica del Tipo Ligero (DPL) porque se encuentran en el vaso. Las profundidades de sondeo se detallan en cuadro siguiente.

Según Suarez D. J. (1993), el suelo que conforma el vaso pertenece a un suelo arena, limo y arcillas saturados Medianamente densos con más contenido de limo de baja plasticidad según los ensayos realizados.

Cuadro 4.21. Resumen de rechazo con el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL).

N°	CALICATA	DPL(m)	PROFUNDIDAD (m)	RECHAZO A PROFUNDIDAD(m)
1	C-08	DPL-01	4.50	4.50
2	C-07	DPL-02	4.20	4.20
3	C-09	DPL-03	4.10	4.10
4	C-01	DPL-04	4.60	4.60
5	C-02	DPL-05	5.40	5.40
6	C-03	DPL-06	4.00	4.00

Cuadro 4.22. Profundidad total del sondeo calicata más el ensayo penetración dinámica ligera (DPL).

N°	CALICATA	PROFUNDIDAD DE CALICATA (m)	DPL	PROFUNDIDAD DPL(m)	RECHAZO PROFUNDIDAD(m)
1	C-08	4.50	DPL-01	4.50	9.00
2	C-07	1.20	DPL-02	4.20	5.40
3	C-09	1.50	DPL-03	4.10	5.60
4	C-01	1.50	DPL-04	4.60	6.10
5	C-02	4.50	DPL-05	5.40	9.90
6	C-03	1.50	DPL-06	4.00	5.50

4.7.1. SONDEOS GEOTECNICOS Y PERFIL DEL ENSAYO DPL

Aquí se muestra el sondeo y la exploración del suelo y el perfil estratigráfico realizado con el ensayo (DPL).

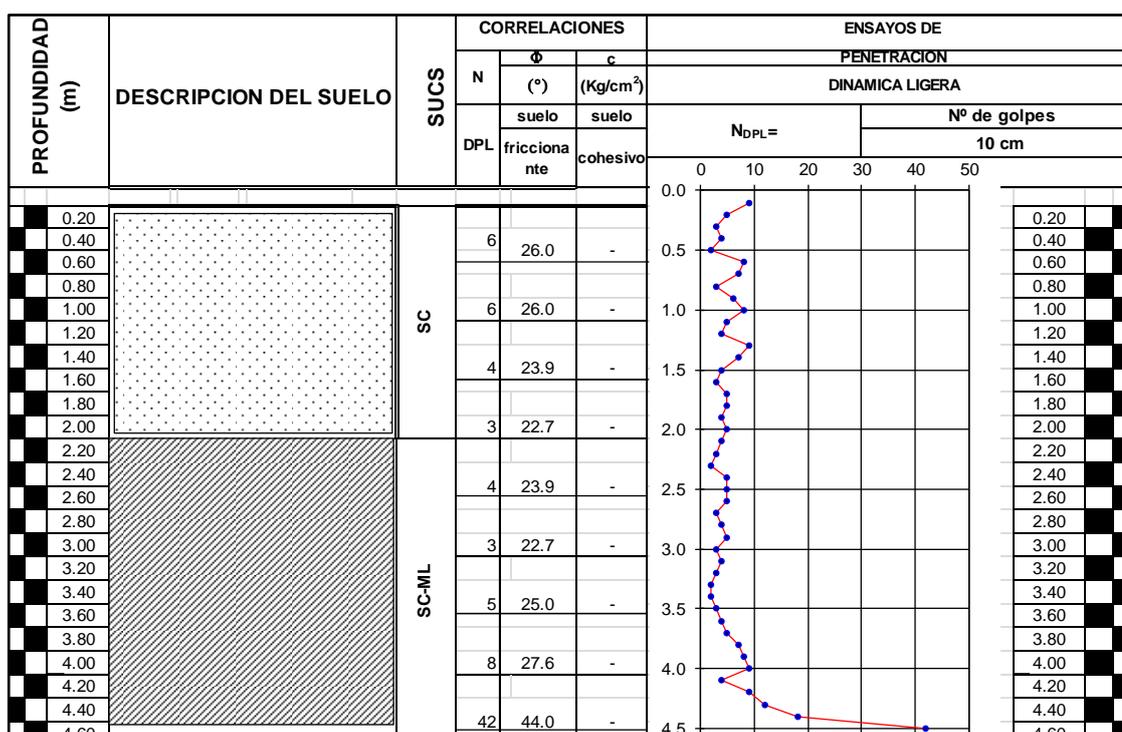


Figura 4.33. Sondeo del ensayo DPL-01 en la C-08.

En la figura 4.33, se muestra el registro del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-01) concluye la penetración y existe rechazo a los 4.5 m de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración con un total de numero de golpes (N) de 42 golpes. El tipo de suelo encontrado según el perfil estratigráfico corresponde a SC-ML, según Sistema Unificado

de Clasificación de Suelos (SUSC), en el punto donde ofrece la resistencia la penetración.

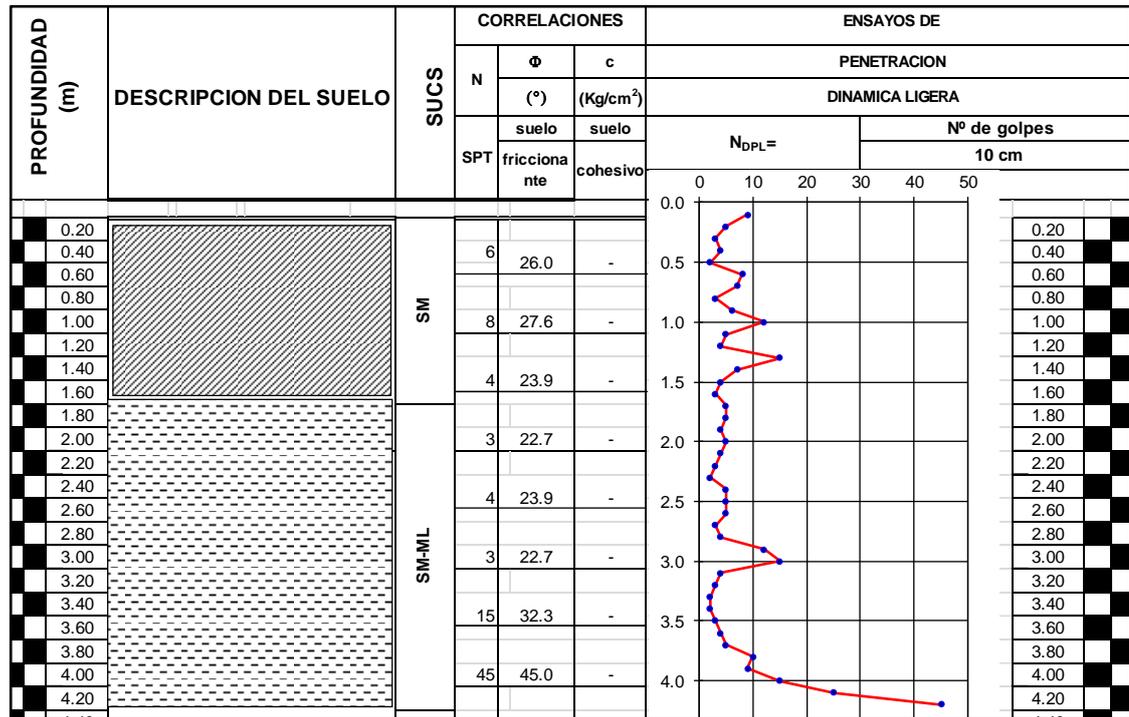


Figura 4.34. Sondeo del ensayo DPL-02 en la C-07.

En la figura 4.34, se muestra el registro del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-02) concluye la penetración y existe rechazo a los 4.2 m de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración con un total de numero de golpes (N) de 45 golpes. El tipo de suelo encontrado según el perfil estratigráfico corresponde a SM-ML, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), en el punto donde ofrece la resistencia la penetración.

En la figura 4.35, se muestra el registro del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-03) concluye la penetración y existe rechazo a los 4.10 m de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración con un total de numero de golpes (N) de 43 golpes. El tipo de suelo encontrado según el perfil estratigráfico corresponde a SC-ML, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), en el punto donde ofrece la resistencia la penetración.

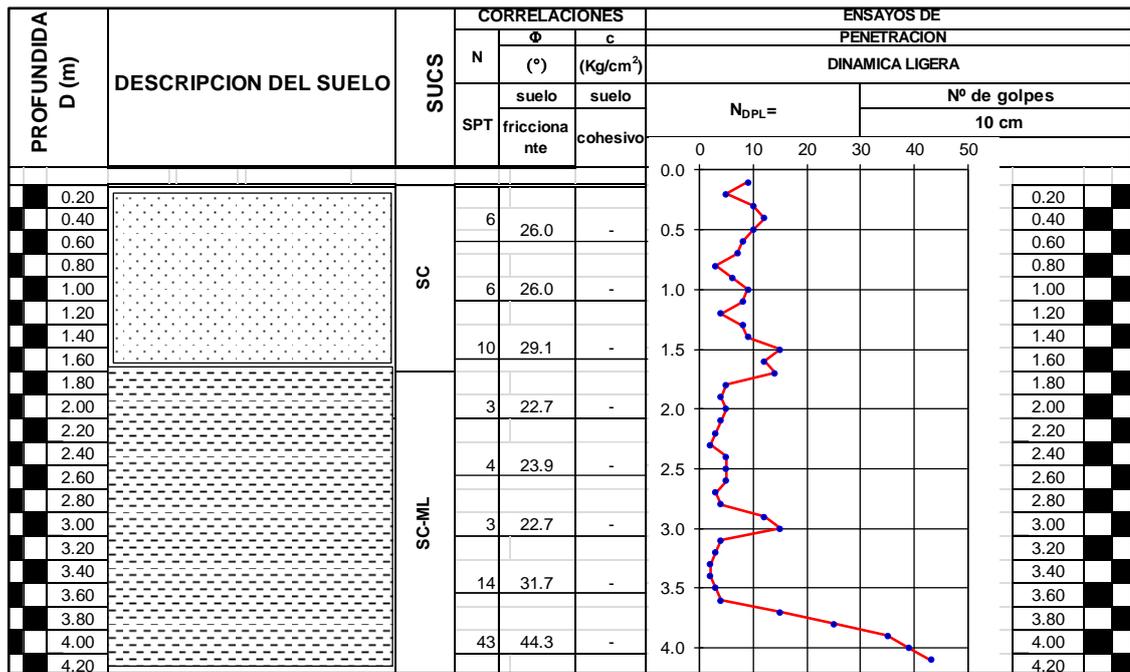


Figura 4.35. Sondeo del ensayo DPL-03 en la C-09.

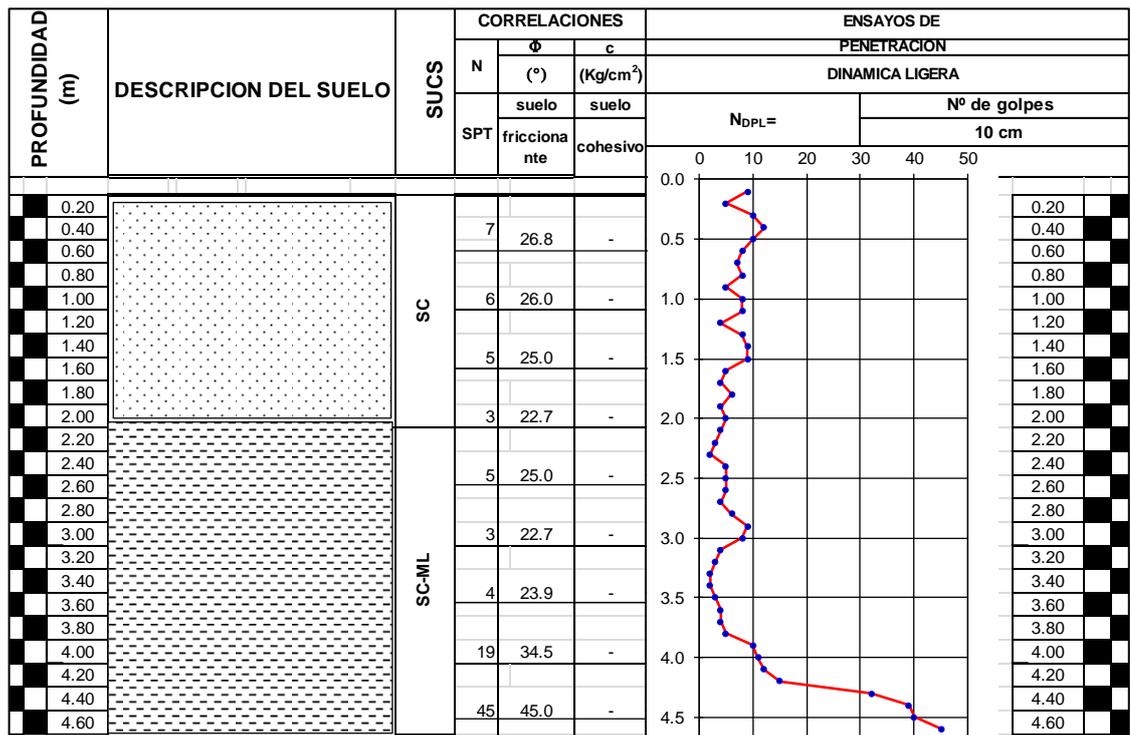


Figura 4.36. Sondeo del ensayo DPL-04 en la C-01.

En la figura 4.36, se muestra el registro del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-04) concluye la penetración y existe rechazo a los 4.60 m de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración con un total de numero de golpes (N) de 45 golpes. El tipo de suelo encontrado según el perfil estratigráfico corresponde a SC-ML, según Sistema Unificado

de Clasificación de Suelos (SUSC), en el punto donde ofrece la resistencia a la penetración.

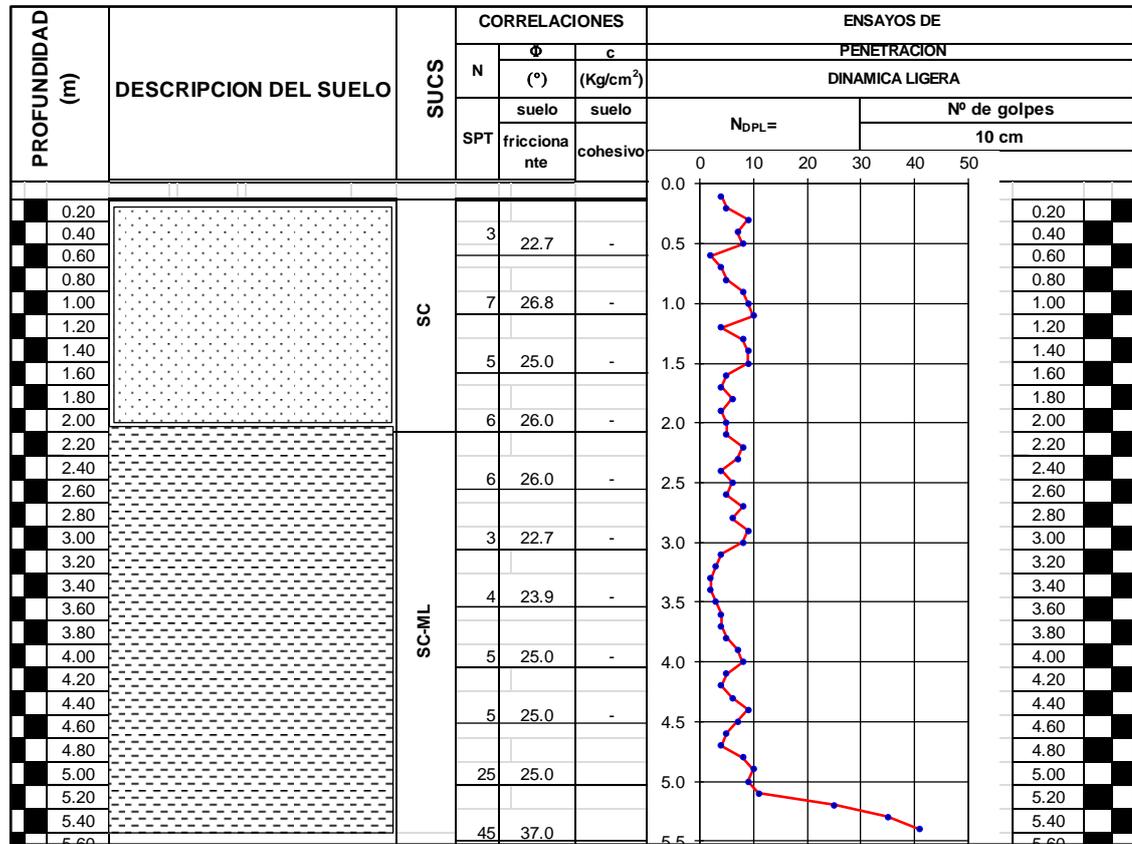


Figura 4.37. Sondeo del ensayo DPL-05 en la C-01.

En la figura 4.37, se muestra el registro del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-05) concluye la penetración y existe rechazo a los 4.60 m de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración con un total de numero de golpes (N) de 41 golpes. El tipo de suelo encontrado según el perfil estratigráfico corresponde a SC-ML, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), en el punto donde ofrece la resistencia a la penetración.

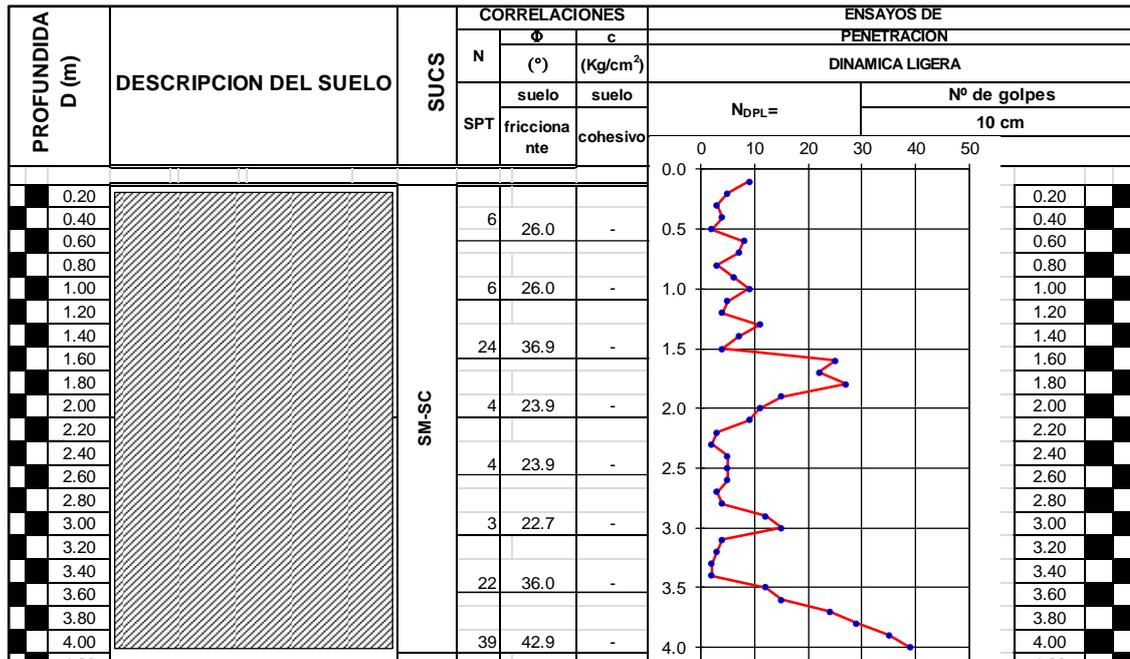


Figura 4.38. Sondeo del ensayo DPL-06 en la C-03.

En la figura 4.38, se muestra el registro del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-06) concluye la penetración y existe rechazo a los 4.00 m de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración con un total de numero de golpes (N) de 39 golpes. El tipo de suelo encontrado según el perfil estratigráfico corresponde a SM-SC, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC), en el punto donde ofrece la resistencia la penetración.

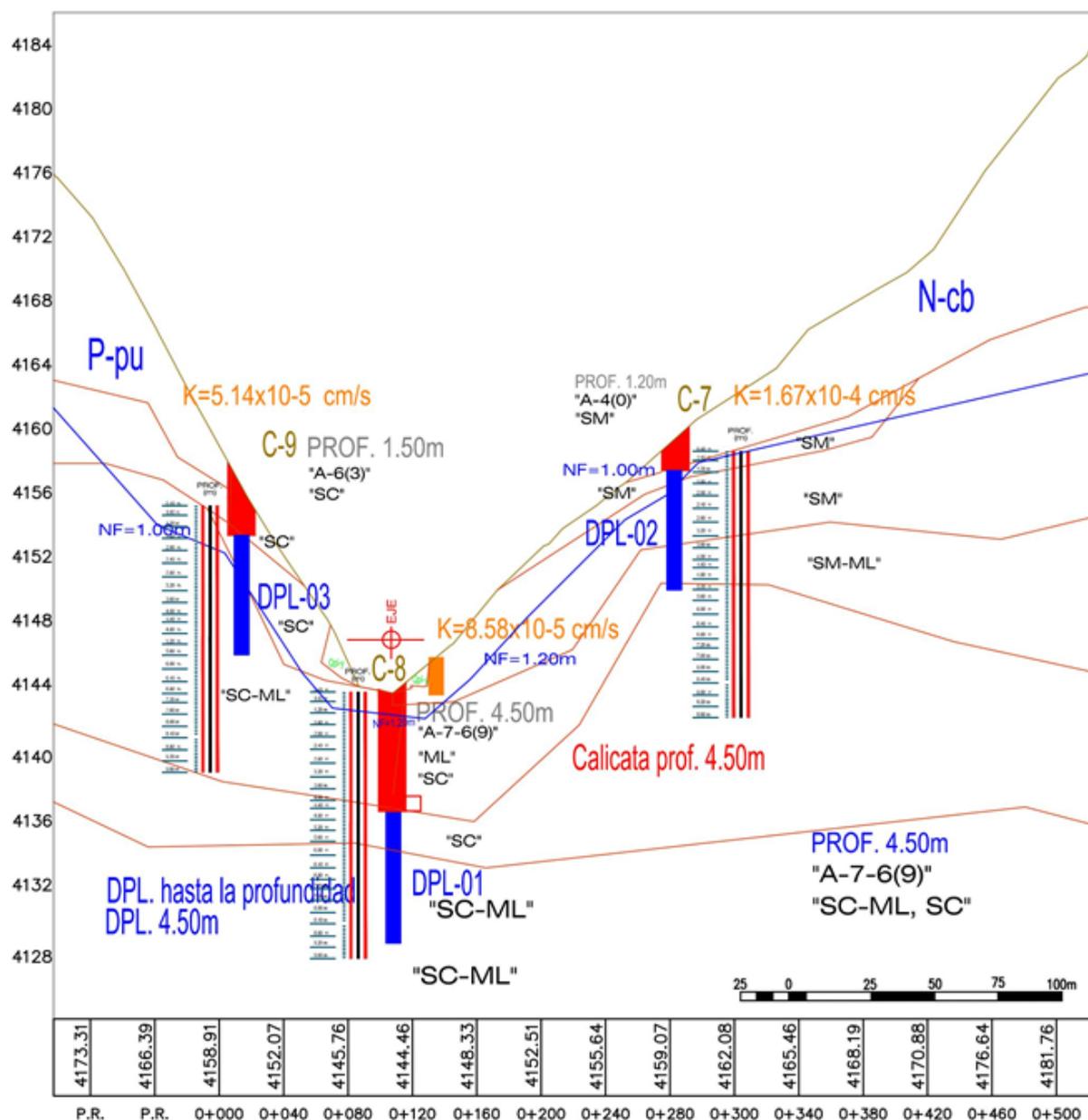


Figura 4.39. Sondeo geotécnico de calicatas de la cerrada dique inferior.

En la figura 4.39, el sondeo geotécnico nos ha permitido determinar la profundidad del nivel de desplante donde será construido el dique inferior, la cual muestra a en la calicata C-08 con una profundidad 9.00m en el eje del dique inferior con suelos SC-ML, SC, ML en todo el perfil estratigráfico con un nivel freático a 1.20m. En la C-09 con una profundidad 5.60m en el eje del dique inferior con suelos SC-ML, en todo el perfil estratigráfico con un nivel freático a 1.00m. En la C-07 con una profundidad 5.40m en el margen izquierdo del dique inferior con suelos SM-ML, SM, en todo el perfil estratigráfico con un nivel freático a 1.00m.

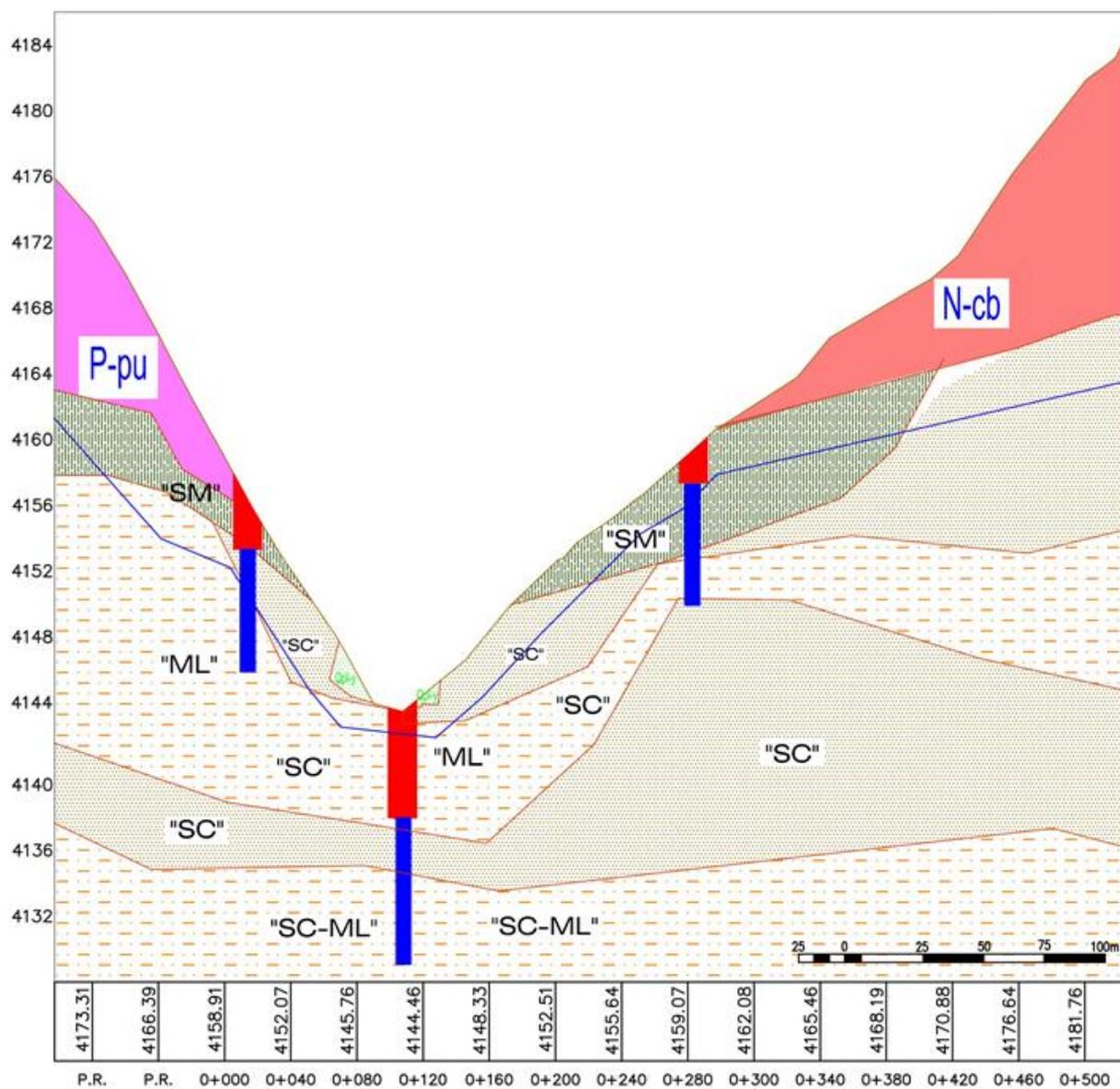


Figura 4.40. Corte geológico de la cerrada dique inferior.

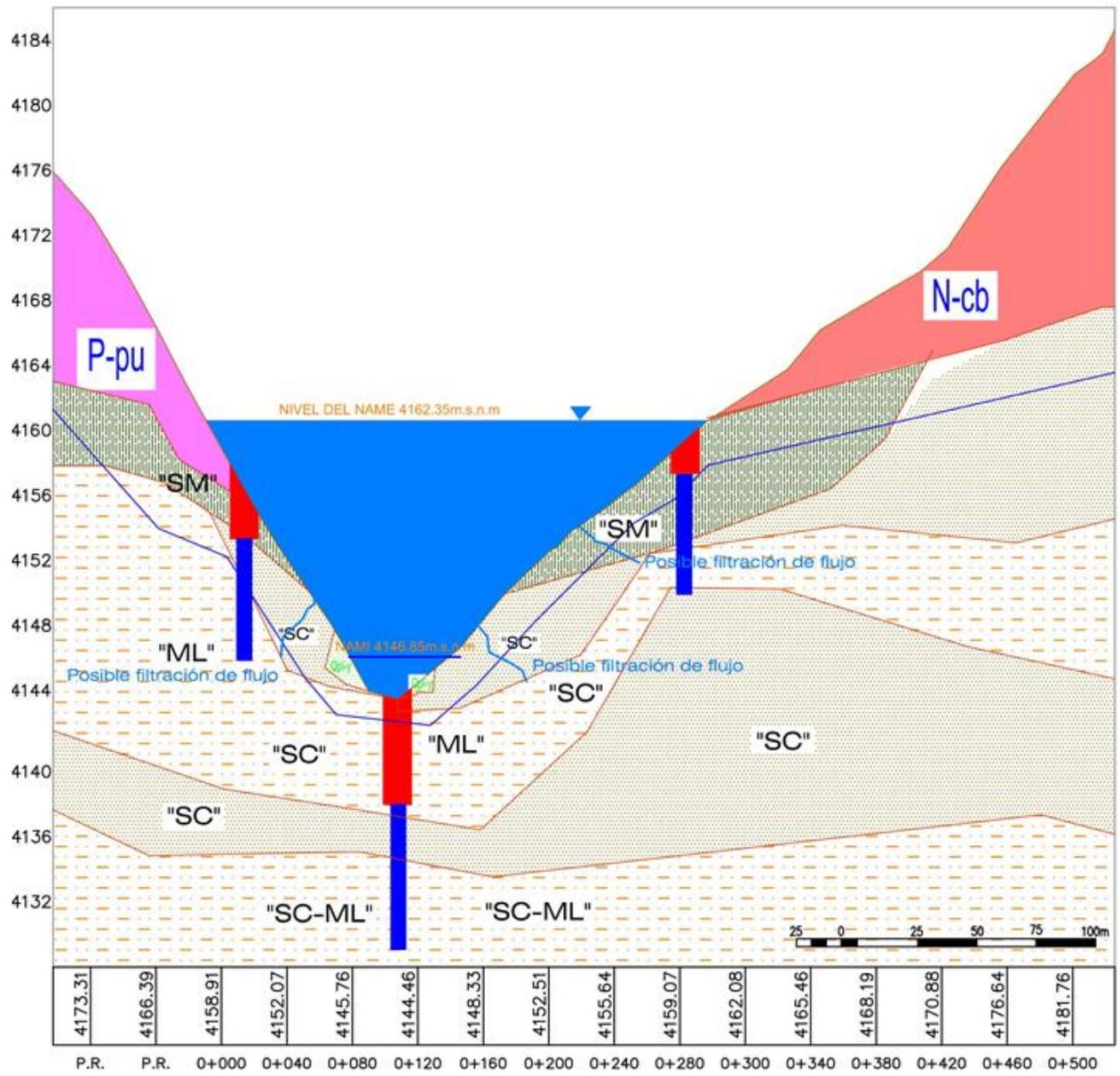


Figura 4.41. Altura del NAME y NAMI de la cerrada dique inferior.

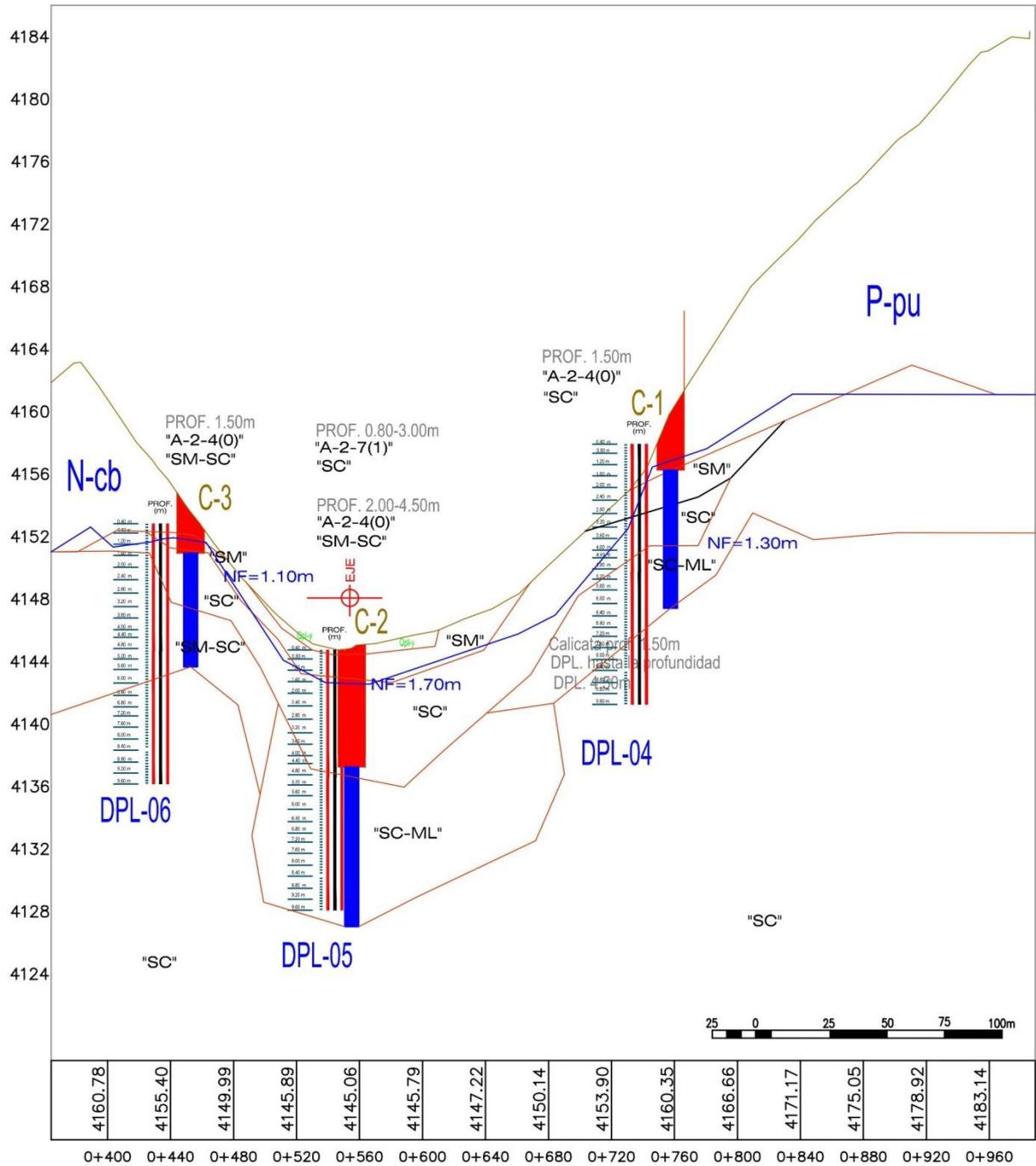


Figura 4.42. Sondeo geotécnico de calicatas de la cerrada dique superior.

En la figura 4.42, el sondeo geotécnico nos ha permitido determinar la profundidad del nivel de desplante donde será construido el dique superior, la cual muestra a en la calicata C-02 con una profundidad 9.90m en el eje del dique superior con suelos SC-ML, SC, SM en todo el perfil estratigráfico con un nivel freático a 1.70m. En la C-01 con una profundidad 6.10m en el eje del dique superior con suelos SC-ML, SC, SM en todo el perfil

estratigráfico con un nivel freático a 1.30m. En la C-03 con una profundidad 5.50m en el margen derecho del dique superior con suelos SM-SC, SC, SM, en todo el perfil estratigráfico con un nivel freático a 1.10m.

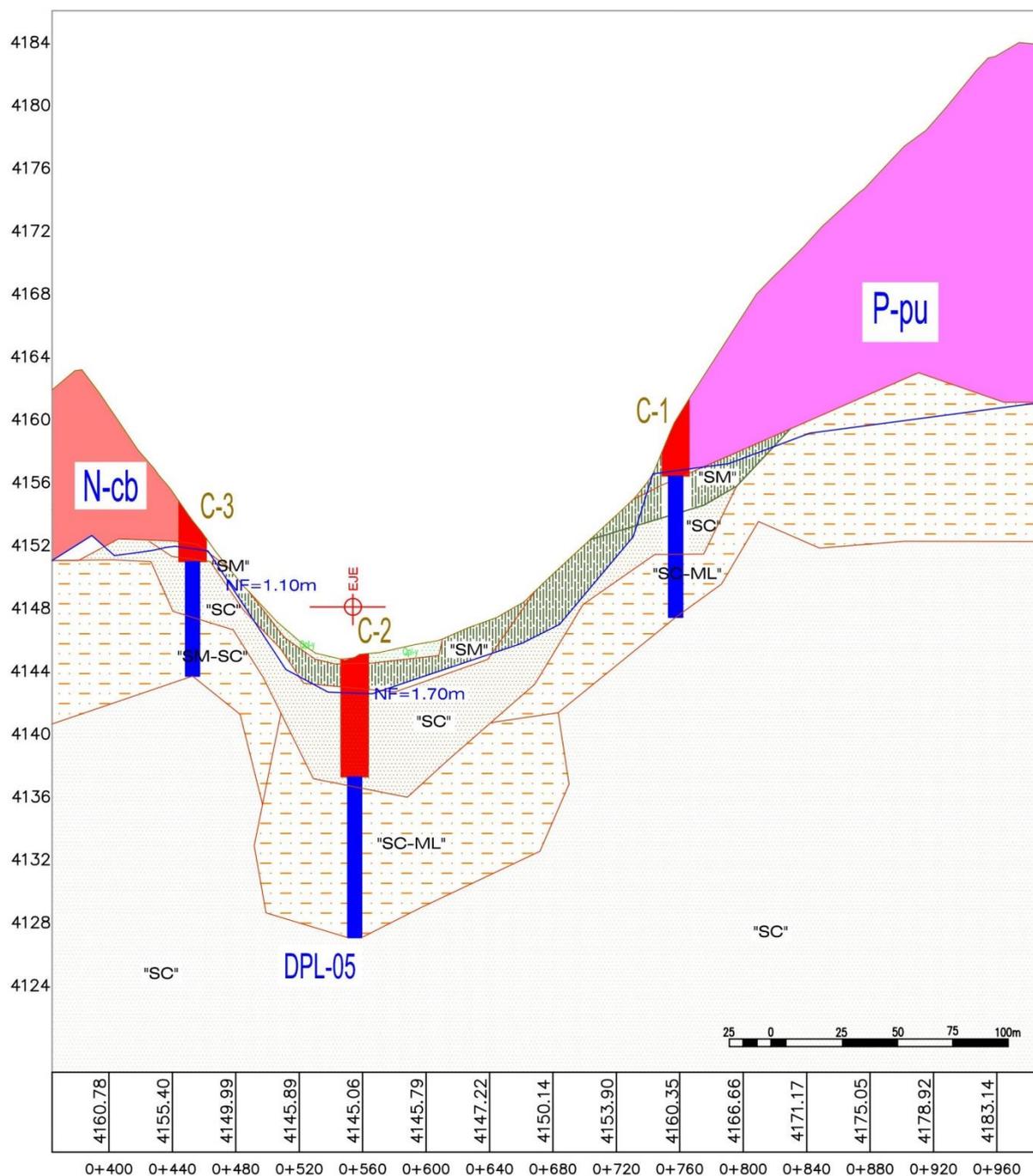


Figura 4.43. Corte geológico de la cerrada dique superior.

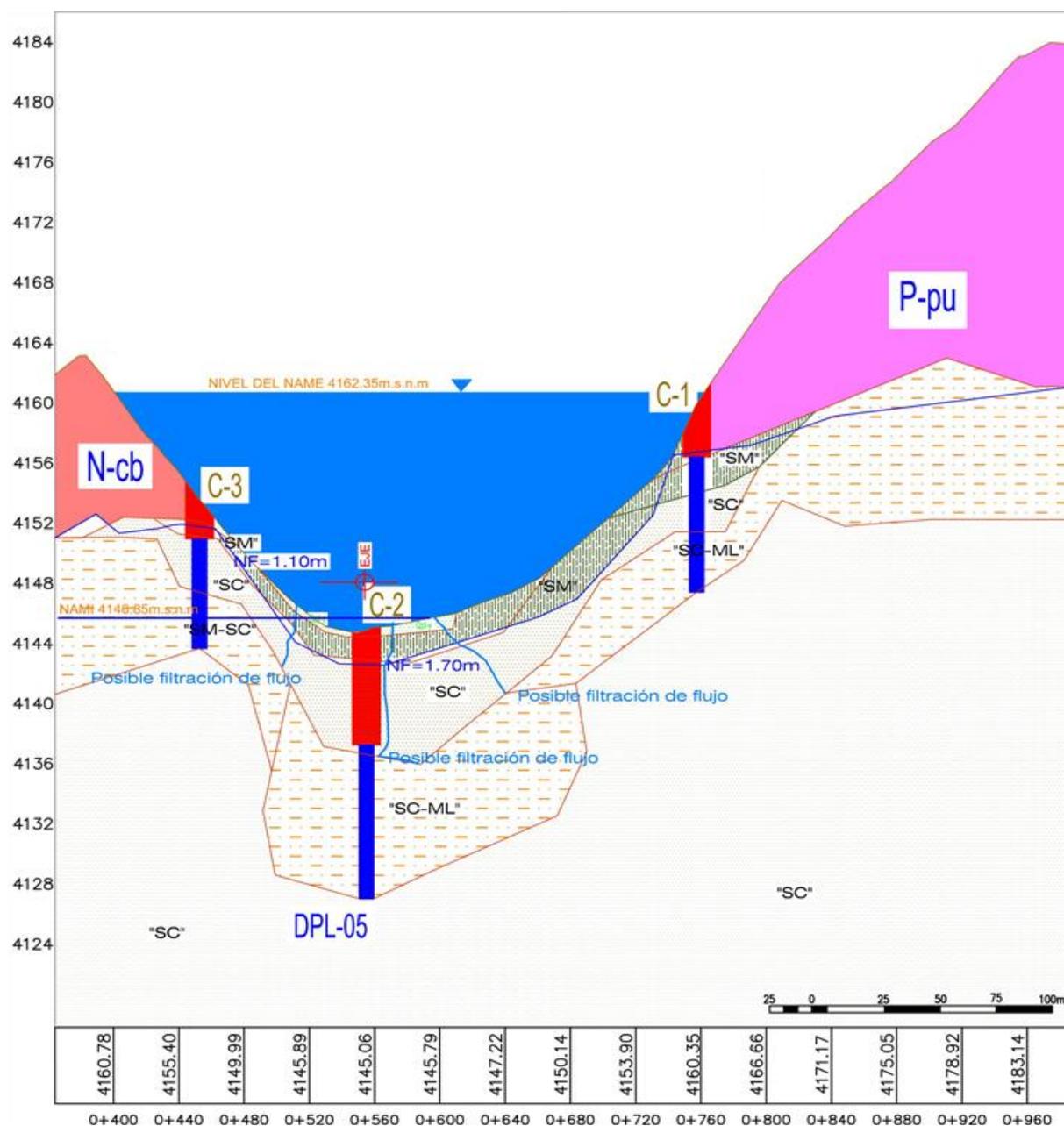


Figura 4.44. Altura del NAME y NAMI de la cerrada dique superior.

4.8. DETERMINACION DE CANTERAS

Las ubicación de canteras para la construcción de la presa es muy importante esto va definir la vida útil de la estructura que se pretende construir, para ello es necesario conocer las propiedades físicas, químicas de los materiales de cantera a utilizar, cantera de arcilla para el núcleo de la presa esto es muy importante para la estabilidad de la presa mucho depende del núcleo para que

no haya fuga de agua o filtración del agua embalsada por el cuerpo de la presa, cantera para la conformación del cuerpo de la presa también tiene que cumplir características adecuadas para la estanquidad del embalse, cantera de roca para la protección de taludes aguas arriba, materiales drenantes también es muy importante para los drenes que se proyectaran para la construcción. Las canteras han sido exploraciones de gran tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen del material que se utilizara para la conformación de presa de tierra.

4.9. EVALUACION DE CANTERAS

Estos estudios de canteras comprende básicamente de la ubicación, investigación y comprobación física, mecánica y química de los materiales agregados inertes para fines de la conformación de cuerpo, núcleo, drenes, taludes de enrocado de la presa de tierra en la Laguna Palccaccota.

Estos trabajos de campo serán orientados a explorar el sub suelo, mediante la ejecución de estudio calicatas en toda el área circundante a la zona en estudio en la laguna Palccaccota, estos estudios de canteras deberán cumplir con las condiciones necesarias para la conformación del cuerpo de la presa de tierra. Se tomaron muestras para el correspondiente análisis de cada una de las exploraciones ejecutadas, las mismas han sido sometidas a ensayos de laboratorio para su análisis correspondiente.

4.9.1. CANTERA DE CANTO DODADO PARA DREN

Las características de la cantera para filtro o drenes de la presa es GW según clasificación SUCS, es un material de canto rodado bien graduado que cumple las características según especificaciones técnicas este material de cantera se podrá utilizar para los drenes verticales y horizontales de la presa. Esta cantera de material drenante. Esta cantera se ubica al SW de la Laguna Palccaccota a 14 km de la obra que se pretende explorar con una potencia 11000 m³ suficiente para los drenes de la presa que se pretende

construir con un rendimiento de 75% a 90% de material drenante con las características físicas son de acuerdo a lo establecido en el cuadro:



Figura 4.45. Vista panorámica de la ubicación de la cantera de material drenante para filtro.

Cuadro 4.23. Características físicas de la cantera de filtro para dren Rio Pallpata.

DISTANCIA	SUCS	POTENCIA	RENDIMIENTO	UBICACION	USO
14 KM	GW	40,000 m3	70%	Nor-Este	Drenes

4.9.2. CANTERA DE ARCILLA ALTO PALLPATA

Las características de la cantera arcilla es CL según clasificación SUCS, arcilla inorgánica de baja plasticidad, dicho material se podrán utilizar para el núcleo de la presa o para la impermeabilización del dique se ubica al NE de la Laguna Palccaccota a 23 km de la obra que se pretende construir, con una potencia 100,000 metros cúbicos suficiente para el núcleo de la presa que se pretende construir con un rendimiento de 70% a 80% de material de arcilla las características físicas son de acuerdo a los establecido en el cuadro siguiente:

Cuadro 4.24. Características físicas de la cantera de arcilla alto Pallpata.

CLASIFICACIÓN SUCS	ÍNDICE PLÁSTICO	LIMITE PLÁSTICO	LIMITE LIQUIDO	PASANTE MALLA Nº 200
CL	12.07 %	16.58 %	28.65 %	56.81 %



Figura 4.46. Vista panorámica de la ubicación de la cantera de arcilla alto Pallpata.

4.9.3. CANTERA PALCCACCOTA

Cantera Palccaccota se encuentra ubicada alrededor de la laguna margen derecha, las características de material están conformadas de arena limosa y arena arcillosa con intercalaciones de roca o clastos de roca en estado compacto el acceso es a 50 a 200 metros de la laguna Palccaccota esta cantera se ha analizado para el conformado de los diques superior e inferior debido a que es un material **CLASIFICACIÓN SUCS SM-SC**, con un índice de plasticidad 6.70 %, con una potencia de 160,000 metros cúbicos, rendimiento 60% a 80% para la conformación de dique requiere zarandeo en ¾" se podrán mezclar con cantera de arcilla y cantera de Palccaccota un aproximado de 50% de cada uno para llegar a un adecuado material de préstamo para la conformación de la presa.

Cuadro 4.25. Características físicas de la cantera de cerro Palccaccota.

CLASIFICACIÓN SUCS	ÍNDICE PLÁSTICO	LIMITE PLÁSTICO	LIMITE LIQUIDO	PASANTE MALLA Nº 200
SM-SC	6.70 %	21.81 %	28.50 %	30.36 %



Figura 4.47. Vista panorámica de la ubicación de la de la cantera cerro Palccaccota.

4.9.4. CANTERA CERRO CCAJYLLUMA

Esta cantera será propuesto para su empleo como material de enrocado para los taludes de la presa de tierra tanto en taludes aguas arriba y aguas abajo, se ubica al Nor-Este de la laguna Pallccaccota en las coordenada UTM N=8357373, E=278363, la cantera está localizado a unos 4.5 Km de la laguna Palccaccota tiene una de potencia de 40,000 m³ con un rendimiento de 70% la evaluación de los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras de roca, indican que el material corresponde a una roca sedimentaria clástica de grano grueso con una matriz bien litificada, son conglomerados y parte de algunas rocas son areniscas arcoscicas a cuarcíticas son rocas de composición alto contenido de sílice, también se ha encontrado rocas afloramiento de rocas volcánicas andesitas básicas. La explotación en el periodo de explotación a lo largo de la ejecución de la obra.

Cuadro 4.26. Características físicas de la cantera de cerro Palccaccota.

DISTANCIA	POTENCIA	RENDIMIENTO	UBICACION	USO
4.5 KM	40,000 m3	70%	Nor-Este	Enrocado

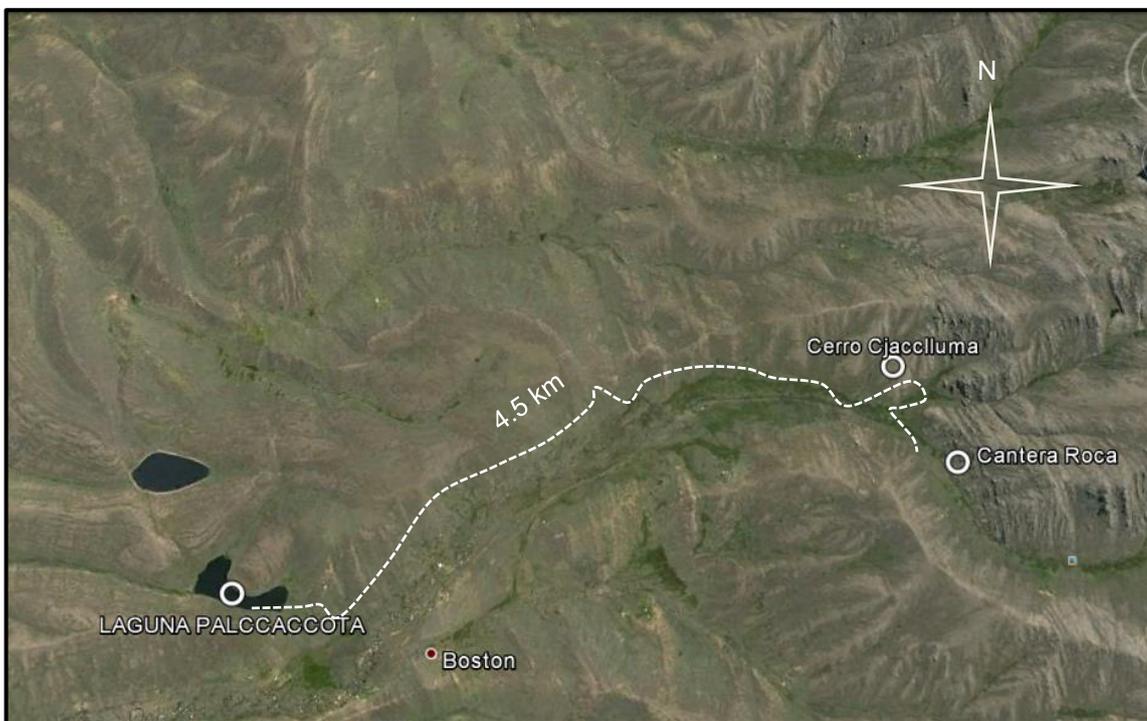


Figura 4.48. Vista panorámica de la ubicación de la cantera de roca y Cjacclluma.



Figura 4.49. Vista panorámica de la ubicación de las canteras para la construcción de la conformación de la presa de tierra.

La cantera de roca areniscas cuarcíticas son rocas de gran resistencia ala solubilidad y son aptos para la conformación del enrocado en los taludes de los diques también están compuestos de arenitas de cuarzo llamadas también ortocuarzitas o cuarzoarenitas están constituidas por más del 95% de cuarzo, y algunas contienen algo de cemento carbonatado.

Según, (Suarez D. 1993), un resumen de pesos específicos de diferente rocas para establecer relaciones para el enrocado en el talud aguas arriba de la presa de tierra.

Tabla 4.3. Pesos específicos de diferentes rocas (Suarez D. 1993).

M a t e r i a l	P e s o e s p e c í f i c o (T o n / m 3)
Granito	2,4 - 3,0
Basalto	2,8 - 3,0
Caliza muy dura	2,6 - 2,7
dura	2,4 - 2,5
semidura	1,9 - 2,3
blanda	1,5 - 1,8
M á r m o l y d o l o m i t a	2,5 - 2,9
C u a r c i t a	2,2 - 2,8
A r e n i s c a	1,9 - 2,6
T o b a	1,6 - 1,8
G e n e i s s g r a n í t i c o	2,5 - 2,8
E s q u i s t o	2,0 - 2,6

Cuadro N° 4.27. Evaluación y relación de Canteras para la conformación del dique de la presa de tierra en la Laguna Palccaccota (Elaboración propia).

CANTERA	ACCESO	ESTADO ACCESO	DISTANCIA	LADO	USOS	PROPIETARIO
Rio Pallpata	Si	Bueno	14Km	Sur Oeste	Filtro y drenes	Comunidad
Cerro Palccaccota	Si	Bueno	(30-200)m	Derecho	Conformación presa	Comunidad
Cerro Ccajyuma	Si	Regular	4Km	Derecho	Enrocado	Comunidad
Cantera Alto Pallpata(Arcilla)	si	Bueno	23Km	Derecho	Impermeabilizar, Sellado	Comunidad

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Las condiciones geológicas y geotécnicas que se han obtenido son favorables para la construcción de la presa tierra en la laguna Palccaccota, los materiales que lo conformaran son depósitos de material suelto materiales (Qpl-Glf y Qr-al), depósitos recientes(Q-al), formación casa blanca(N-cb), formación Yauri (Qpl-y), grupo Puno (P-pu), que son predominantes en toda la zona de investigación, el material de préstamo que será conformado la presa de tierra presenta características de un material SM-SC, con IP de 21.81 % la cual contiene alto contenido de finos con una potencia de 160,000m³, el material que lo conformara el núcleo tendrá las características de una arcilla inorgánica de baja plasticidad CL, con un IP de 12.07 %, LL de 28.65 %. El material que lo conformara los drenes será una GW, con 70% de rendimiento y una potencia de 40,000 m³, con un agulo de fricción de 32.5°.
- Se han obtenido las características geotécnicas del terreno de fundación favorables y confiables donde se implantara el dique superior e inferior, en la C-08 realizado con una profundidad de 4.50m, el material estará conformado por limo inorgánico de baja plasticidad ML, con un IP de 13.29%, dentro esta calicata en el eje del dique inferior se ha realizado el ensayo Penetración Dinámica del Tipo Ligero (DPL-01) con una profundidad de sondeo de 4.5m haciendo un total de 9m, a esta profundidad ofrecerá resistencia a la penetración con un total de 45 golpes, estará conformado por un material bien consolidado SC-ML. Donde descansara la cimentación de la presa, a esta profundidad la capacidad admisible será de 1.64Kg/cm². En la C-02 realizado con una profundidad de 4.50m, el material que lo conformara será arena arcillosa bien compacto con presencia de limo SC, con un IP de 13.04%, dentro

esta calicata en el eje del dique superior se ha realizado el ensayo Penetración Dinámica del Tipo Ligero (DPL-05) con una profundidad de sondeo de 5.40 m haciendo un total de 9.90 m, a esta profundidad habrá rechazo ofrecerá resistencia a la penetración con un total de 41 golpes, estará conformado por un material bien consolidado SC-ML. Donde descansara la cimentación de la presa del dique superior, a esta profundidad la capacidad admisible será de 2.50Kg/cm².

- Las propiedades del terreno de fundación que se han obtenido han sido desfavorables para que el flujo atravesase el material sin alterar su estructura interna, los materiales que conformara el nivel de desplante tiene un coeficiente permeabilidad realizado en el pozo de sondeo P-02 de 0.70m con un diámetro de 0.40m en el eje del dique inferior será de $8.58 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$, en el pozo de sondeo P-08 de 0.70m con un diámetro de 0.40m en el eje del dique superior será de $1.35 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer una exploración del terreno, mediante los ensayos S.P.T y sondajes eléctricos verticales (SEV), la calidad y magnitud del proyecto a trabajar.
- Se recomienda realizar cálculo del coeficiente de permeabilidad por el método de Lugeon, para estimar con más precisión la permeabilidad del suelo. Porque se realizan mediciones en 5 niveles de presión, en los cuales el agua es inyectada.
- Se recomienda hacer una mezcla de canteras 75% de material de cantera del cerro Palccacota de composición SM-SC, con 25% de material CL, de la cantera de arcilla para la conformación de los diques y lograr mayor eficiencia para el almacenamiento de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICOS

- **ALVA H. J. E. INFANTES Q. M.** (1999). Huánuco, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio Geotécnico del CISMID , Ponencia presentada al XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Diseño sísmico de presas de tierra y enrocado.
- **ASTM** - Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- **AASHTO**-Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes
- **BUREAU OF RECLAMATION** (1987). Design of Small Dams; United States Department Of The Interior, Third Edition.
- **BOWLE, J.E.** (1995). “Propiedades geofísicas de los suelos” editorial Ing. Civil Bradley University.
- **BAUTISTA, G. (2012)**. Comparación del coeficiente de permeabilidad obtenidos en el laboratorio con las formulas empíricas de Allen Hazen, Schlichtery terzagui para arenas del rio Mancoy rio Frio . Bolivia.
- **BERRY, P., REID, D. (1993)**. Mecánica de Suelos. Colombia: Editorial. Matha Edna Suarez R. 1ra edición.
- **CAVERO P. C. (2010)**, análisis de métodos para la predicción de presión de poros aplicado a la estabilidad de pozos de perforación petrolera, lima – Perú, 105pag
- **COSSIO V. J.L.** (2001). Mecánica de suelos teoría y problemas-Editorial corregido y aumentado-Lima-Peru-180p.
- **CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. (1988)**, Hidrología aplicada. McGraw-Hill edición internacional.
- **COX, C.(2006)**, Determinación de la Conductividad Hidráulica en la Zona No Saturada con el Infiltrómetro de Anillo. Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería Civil. Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra.
- **DAS B. M.** (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica, Segunda edición, California Satate Sacramento-594p.
- **DAS B. M. (2008)** Principios de Ingeniería Geotécnica de cimentaciones- Editorial Rocio-743p.

- **(DISEÑO SISMICO DE PRESAS DE TIERRA Y ENROCADO).** (1999). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio Geotécnico del CISMID, XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco
- **GONZALES DE V. LUIS I.** (2002), Ingeniería Geológica, Editora: Isabel Capella, 716p.
- **G. G. MEYERHOFF** (1953), La capacidad de soporte de las fundaciones bajo carga excéntricas e inclinadas", Actas de la Tercera Conferencia Internacional en Mecánica de Suelos, vol. Yo, Zürich.
- **INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (INGEMMET),** Boletín N° 55-1995- "Geología del Perú". Primera Edición, Lima –Perú. Impresiones Firmat S.A. Editores e Impresores.
- **JUAREZ B. E.** (1996). Mecánica de suelos Tomo II-Editorial Limusa-Mexico, DF-703p.
- **JUAREZ B. E.** (1995). Mecánica de suelos Tomo I-Editorial Limusa-Mexico, DF-640p.
- **JUAREZ B.; RICO R.** (1990) "Mecánica de suelos". Tomo II Teoría y Aplicaciones de la mecánica de suelos. Limusa Noriega Editores. México.
- **KRYNINE P.D.** (1972). Principios de la Geología y Geotecnia para Ingenieros, Traductor: José M. Ríos Tercera Edición. Barcelona, España.
- **MAIDMENT R. DAVID (1998),** hidrología aplicado, 588pag
- **MARSAL R. J. & RESÉNDIZ N. D.** (1975). presas de tierra y enrocamiento, Editorial Limusa-Mexico.
- **LAMBE, W. (1998).** Mecánica de Suelos. México: Editorial. Limusa.2da edicion. Lopez, E. J. (2012). Estudios de Permeabilidad en Materiales de lixiviación. Santiago.
- **LAMBE, T. W. & WHITMAN, R. V. (1997).** *Mecánica de suelos.* México.
- **SUAREZ D. J.** (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga – Colombia. Editorial Ingeniería de Suelos Ltda.

- **RAY K.LINSLEY & JOSEPH B. FRANZINI (1978)** Ingeniería de Recursos Hídricos. De la Universidad de São Paulo, Editora McGraw-Hill de Brasil.
- **R. ARAGÜÉS LAFARGA (2002)**. Desarrollo de un infiltrómetro automático y su aplicación en campo. Unidad de Suelos y Riegos. S.I.A. - D.G.A. Zaragoza.
- **SUAREZ D. J.** (1993). Fuerzas Actuantes En Una Rebanada. Bucaramanga – Colombia. Editorial Ingeniería de Suelos Ltda.
- **TORRES L. P. (2009)**. Ensayo de Permeabilidad. Geología y geotecnia.
- **WASHINGTON S. E.** (2012) Presas de tierra y enrocamiento-43p.
- **(DISEÑO SISMICO DE PRESAS DE TIERRA Y ENROCADO)**- Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio Geotécnico del CISMID Ponencia Presentada al XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco-1999.
- **NORMA E.030** Diseño Sismo resistente.
- (Geotecnia LNV, 1993.)
- (Espinace R., 1979).
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>.
- (<http://www.finesoftware.es/software-geotecnico/ayuda/estabilidad-de-taludes/morgenstern-price/>).
- <http://www.monografias.com/trabajos15/embalses/embalses.shtml>.
- <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Ensayo%20de%20Permeabilidad%20Lefranc%202009.pdf>
- <http://www.ingemmet.gob.pe/por-region>

ANEXOS